



**Geowissenschaftliche und aufbereitungstechnische  
Untersuchungen an ausgewählten Pegmatiten und deren  
Nb-Ta-Vererzungen in den Ostalpen,  
Steiermark, Österreich**

**Masterarbeit**

**Stefan Ahrer**

Betreuer:

Univ. Prof. Dr. Johann G. Raith

Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik

Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie

Montanuniversität Leoben, Österreich

Leoben, September 2014

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

## AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

16.09.2014

---

Datum



---

Unterschrift

## Danksagung

Bevor Sie mit der Lektüre meiner Masterarbeit beginnen möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Als erstes möchte ich mich bei meinem Betreuer und dem Leiter des Projektes, in dessen Rahmen diese Masterarbeit durchgeführt wurde, Hr. Dr. Johann G. Raith für die Möglichkeit der Umsetzung dieser Masterarbeit bedanken.

Besonderer Dank gebührt Hr. Dr. Heinz Mali für die Weitergabe seiner profunden Kenntnisse von Pegmatiten in den Ostalpen und der Unterstützung im Gelände.

Für die vorzügliche Qualität der Dünnschliffe und Anschliffe, sowie für die Betreuung an der Mikrosonde möchte ich mich bei Hr. Helmut Mühlhans bedanken und ihm für den wohlverdienten Ruhestand Alles Gute wünschen.

Bei der Mikrosonde wurde ich zusätzlich tatkräftig unterstützt von Fr. Dr. Federica Zaccarini. Hr. Oskar Thalhammer sei gedankt für die Unterstützung beim Electric Pulse Disaggregator, solange das Gerät noch funktionierte.

Zusätzlich zu Mitarbeitern der Montanuniversität Leoben möchte ich mich auch bei folgenden Personen anderer Universitäten bedanken. Hr. Dr. Christoph Hauzenberger von der Karl-Franzens Universität Graz für die Unterstützung bei der Messung der Muskovite mittels LA-ICP-MS und Fr. Dr. Maria Sitnikova von der BGR in Hannover für die Messung der Anschliffe mittels MLA.

Meinen Studienkollegen sei an dieser Stelle für interessante Diskussionen und Vorschläge gedankt. Dies gilt insbesondere für Philipp Legerer meinem Masterarbeitskollegen, mit dem ich während der Mittagspausen ausführlich über unsere Arbeiten diskutieren konnte.

Bei meinen Eltern möchte ich mich für die ständige Unterstützung vor und während des Studiums bedanken.

# INHALTVERZEICHNIS

Abkürzungen .....	6
Zusammenfassung .....	7
Abstract .....	8
1 Aufgabenstellung .....	9
2 Geografische Lage der Arbeitsgebiete .....	10
3 Regionalgeologischer Überblick .....	11
3.1 Ostalpin .....	11
3.2 Koralpe-Wölz HP-Deckensystem .....	13
3.3 Rappold Komplex .....	14
3.4 Pegmatite in den Ostalpen .....	15
4 Methodik .....	16
4.1 Geologische Geländearbeit und Aufschlussaufnahmen .....	16
4.2 Probenahme .....	16
4.3 Aufbereitung der Proben .....	17
4.4 Mikroskopie und Raman Spektroskopie .....	18
4.5 Elektronenstrahlmikrosonde .....	18
4.5.1 Feldspäte .....	19
4.5.2 Muskovite .....	19
4.5.3 Nb-Ta-Mineralie .....	20
4.6 Mineral Liberation Analysis (MLA) .....	21
4.7 Laser-Ablation - induktiv-gekoppeltes-Plasma – Massenspektrometrie (LA-ICP-MS) .....	22
5 Makroskopische Beschreibung der Aufschlüsse .....	23
5.1 Mitterberg .....	23
5.2 Garrach .....	30
5.3 Lachtal .....	33
5.4 Hohenwart .....	37
6 Mineralbeschreibungen und Bemerkungen zu den Gefügen .....	42
6.1 Quarz .....	42
6.2 Plagioklas .....	42
6.3 Kalifeldspat .....	43
6.4 Spodumen .....	43
6.5 Turmalin .....	44

6.6	Muskovit.....	45
6.7	Granat.....	46
6.8	Akzessorien und Schwerminerale (Nb-Ta-Minerale) .....	46
7	Ergebnisse und Auswertung.....	48
7.1	Aufbereitungsversuche (Anreicherung Nb-Ta-Minerale).....	48
7.2	Mineral Liberation Analysis (MLA) .....	50
7.2.1	Mitterberg .....	55
7.2.2	Garrach.....	56
7.2.3	Lachtal .....	57
7.2.4	Hohenwart.....	58
7.3	Elektronenstrahlmikrosondenanalysen an Mineralen der Columbit-Tantalitgruppe.....	60
7.3.1	Alle Lokalitäten.....	61
7.3.2	Mitterberg .....	62
7.3.3	Garrach.....	64
7.3.4	Lachtal .....	66
7.3.5	Hohenwart.....	69
7.4	EMPA und LA-ICP-MS Analysen der Muskovite .....	72
7.4.1	Gemeinsame Darstellung aller vier Lokalitäten .....	72
7.4.2	Mitterberg .....	76
7.4.3	Garrach.....	79
7.4.4	Lachtal .....	81
7.4.5	Hohenwart.....	84
8	Diskussion der Ergebnisse .....	86
8.1	Aufbereitung - Mineralseparation .....	86
8.2	Mineral Liberation Analysis (MLA) und Elektronenstrahlmikrosondenanalyse (EMPA) der Columbite.....	87
8.3	Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite .....	89
9	Literaturverzeichnis.....	91
10	Anhänge .....	95

## Abkürzungen

A	Ampere
Col	Columbit
D.L.	Nachweisgrenze (detection limit)
EDS	energiedispersive Röntgenanalyse
EPD	Electric Pulse Dissaggregation
EMPA	Elektronenstrahlmikrosonde
FFG	Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
GA	Garrach
Gra	Granat
HW	Hohenwart
Kfs	Kalifeldspat
LA	Lachtal
LA-ICP-MS	Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
MB	Mitterberg
MLA	Mineral Liberation Analysis
Mus	Muskovit
NAPW	Natriumpolywolframat
Plg	Plagioklas
Qz	Quarz
Spod	Spodumen
Turm	Turmalin
WDS	wellenlängendispersive Röntgenanalyse
#	gekreuzte Polarisatoren
	parallele Polarisatoren

## Zusammenfassung

Diese Masterarbeit wurde im Zuge des FFG-Projektes mit dem Titel „Optimierung der Prospektionsmethodik zur Suche nach primären Coltan-Lagerstätten in Österreich“ durchgeführt. Es wurden spodumenführende Pegmatite von vier Lokalitäten der Ostalpen untersucht. Alle Arbeitsgebiete liegen im Rappold Complex des oberostalpinen Koralpe-Wölz Deckensystems. Die permischen Pegmatite liegen (sub)konkordant in Gneisen, Glimmerschiefern, Amphiboliten oder Marmoren, haben Mächtigkeiten von wenigen Dezimetern bis zu zehn Metern und laterale Ausdehnungen von wenigen bis mehreren hundert Metern.

Im Zuge der Geländearbeit wurde erkannt, dass die Pegmatite zoniert sind. Die unterschiedlichen Zonen unterscheiden sich in der Mineralparagenese und / oder der Korngröße. Die Pegmatite wurden geologisch kartiert und aus den unterschiedlichen Zonen wurden Proben entnommen. Die Proben wurden petrographisch und mineralogisch charakterisiert. Mit unterschiedlichen Aufbereitungsmethoden wurden die Schwerminerale separiert und Schwermineralkonzentrate hergestellt. Ein Vergleich der Methoden zeigt, dass eine schnelle und kostengünstige Probenaufbereitung mittels Backenbrecher und Waschpfanne zu ausreichend guten Ergebnissen, bezüglich der Anreicherung von Nb-Ta-Mineralen, führt.

Die Schwerminerale, allen voran die Nb-Ta-Mineralen wurden mittels MLA und EMPA mineralogisch und geochemisch analysiert. Zusätzlich zu Mineralen der Columbium-Tantalitgruppe treten Minerale der Pyrochlor-Supergruppe auf. Die Nb-Ta-Mineralen sind häufig zoniert. Eine einheitliche Zonierung ist allerdings nicht zu erkennen. Oszillatorische Zonierung wechselt mit fleckiger Zonierung und wird häufig auch von einer jüngeren Zonierung verdrängt.

Die zonierten Pegmatite zeigen meist eine geochemische Fraktionierung. Dafür wurden Muskovite aus den Proben entnommen und die Hauptelemente mittels EMPA und die Spurenelemente mittels LA-ICP-MS untersucht. Unterschiedliche Fraktionierungen der einzelnen Lokalitäten und einzelner Aufschlüsse einer Lokalität lassen sich am besten über die Elemente Kalium, Rubidium und Thallium erkennen. Die Proben aus höher fraktionierten Zonen sind eher vererzt (Nb-Ta-Mineralen führend) als jene aus niedriger fraktionierten Zonen. Bei Aufschlüssen mit vererzten und unvererzten Proben stammt die Vererzte immer aus einer höher fraktionierten Zone. Der Grenzwert bei K/Rb unter dem fast alle Proben vererzt sind liegt bei  $< 40$ .

Die Nb- und Ta-Gehalte der Muskovite sind bei den untersuchten Pegmatiten kein Indikator die auf eine Nb-Ta-Vererzung schließen lassen.

## Abstract

This master thesis is part of a FFG-project with the title “Optimierung der Prospektionsmethodik zur Suche nach primären Coltan-Lagerstätten in Österreich” – “Optimizing the prospection methods for the search of primary Coltan deposits in Austria”. Spodumene bearing pegmatites from four localities of the Eastern Alps were investigated. They are situated in the Rappold Complex of the Upper Austroalpine Koralpe-Wölz nappe system. The Permian pegmatites lie (sub)concordant in gneisses, micaschists, amphibolites and marbles. Their thickness is from a few decimetres up to ten metres and the lateral extension is from a few up to more than hundreds of metres.

Field work conformed zoning of the pegmatites, which is defined by different mineral assemblages and / or different grain sizes. The pegmatites were geologically mapped and samples were taken from the different pegmatite zones. The samples were then petrographically and mineralogically characterized. For separating the heavy minerals different beneficiation methods were tested and heavy mineral concentrates were made. A comparison shows that the fast and cheap beneficiation method using a jaw crusher and gold washing pan leads to reasonable results with respect to concentrating Nb-Ta-minerals.

The heavy minerals, especially the Nb-Ta-minerals, were geochemically analysed using MLA and EMPA. Additionally to columbite-tantalite group minerals there are minerals of the pyrochlore-supergrupp. Most of the Nb-Ta-minerals are zoned. There exist different types of zonation. Oscillatoric zonation changes with a patchy one and is often overprinted by a younger zonation.

Zoned pegmatites tend to show geochemical fractionation. For the characterisation of the fractionation muscovite was separated of the samples and the major elements were analysed with EMPA and the minor elements with LA-ICP-MS. Differences in the fractionation of the individual localities and single outcrops at a locality are best shown with the elements potassium, rubidium and thallium. Samples from the higher fractionated zones are more likely ore bearing (containing Nb-Ta-minerals) than those from lower fractionated zones. At outcrops with and without Nb-Ta-mineralised samples the mineralised sample always is from the higher fractionated zone. At a value of K/Rb lower than 40 all but one of the samples studied are mineralised. The K/Rb-ratio of muscovite is a good indicator for mineralization.

In contrast, the Nb-Ta-contents of muscovite in these pegmatites are no indicator for Nb-Ta-mineralization.

# 1 Aufgabenstellung

Diese Masterarbeit wird als Teil des FFG Projektes mit dem Projekttitel „Optimierung der Prospektionsmethodik zur Suche nach primären Coltan-Lagerstätten in Österreich“ durchgeführt. Antragsteller für das FFG Projekt ist der Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie an der Montanuniversität Leoben. Im Rahmen dieser Masterarbeit werden ausgewählte Pegmatite in den Ostalpen auf ihre Niob-Tantalführung hin untersucht. Zusätzlich zu primären Vorkommen in Pegmatiten werden in einer zweiten Masterarbeit, von Hr. Philipp Legerer, geochemische Bachsedimentanomalien im südböhmischen Pluton untersucht.

Ziel des FFG Projektes ist es, die Kenntnisse zum geologischen Potential für Niob (Nb)-Tantal (Ta) - Rohstoffe (Coltan) in Österreich zu verbessern und die Prospektionsmethodik zur Suche nach Coltan-Lagerstätten in Österreich zu optimieren.

Ziele dieser Masterarbeit sind:

1. Ausgewählte Pegmatitareale in den Ostalpen geologisch und mineralogisch zu beschreiben, zu dokumentieren und zu beproben.
2. Herstellung von Schwermineralkonzentraten der beprobten Pegmatite, unter Anwendung und Vergleich unterschiedlicher Aufbereitungsmethoden.
3. Auf- und Durchlichtmikroskopie an Dünnschliffen und Anschliffen zur mineralogischen und petrographischen Analyse, vorallem zum Auffinden von Nb-Ta-Mineralen.
4. Mineralchemische Analyse der Nb-Ta-Mineralen mittels Elektronenstrahlmikrosonde (EMPA).
5. Chemische Analyse von Hellglimmern aus unterschiedlichen Zonen der einzelnen Pegmatite mittels EMPA und LA-ICP-MS, um Unterschiede im Differentiationsgrad (Fraktionierungstrends) zu erkennen und diese mit dem Auftreten von Nb-Ta-Mineralen in einzelnen Zonen / Proben und mit Daten aus der Literatur zu vergleichen.
6. Analyse der Schwermineralkonzentrate mittels Mineral Liberation Analysis (MLA) um den modalen Mineralbestand, insbesondere der, Nb-Ta-Mineralen der einzelnen Zonen zu ermitteln und zu vergleichen.

## 2 Geografische Lage der Arbeitsgebiete

Die vier untersuchten Pegmatitareale liegen alle in der Steiermark (Abbildung 1).

Von Ost nach West sind dies (Areal, Gemeinde, Politischer Bezirk, Nr. ÖK 50):

- 1) Hohenwart (HW), Pusterwald, Judenburg, 4219
- 2) Lachtal (LA), Schönberg-Lachtal, Murau, 4220
- 3) Mitterberg (MB), Übelbach, Graz-Umgebung, 4222
- 4) Garrach (GA), Gutenberg an der Raabklamm, Weiz, 4223

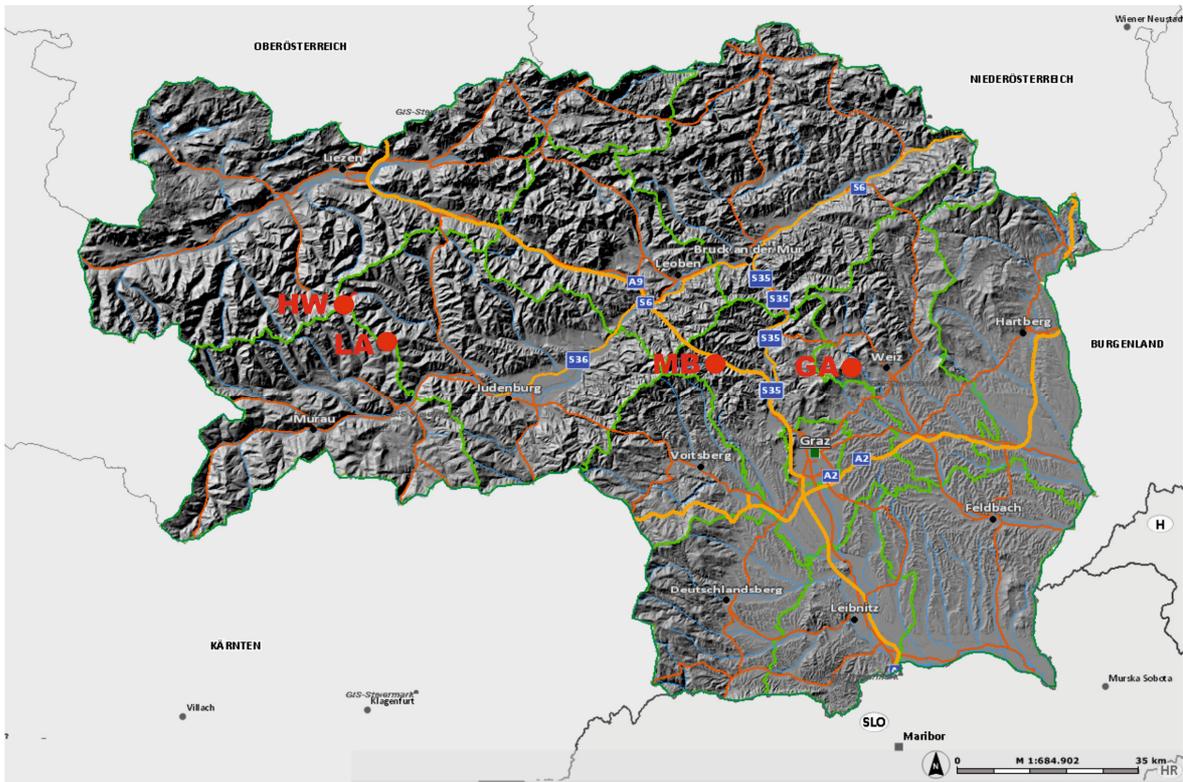


Abbildung 1: Karte der Steiermark mit den Arbeitsgebieten (GIS Steiermark).

Die Lokalitäten Hohenwart und Lachtal sind in den Niederen Tauern und zwar in den Rottenmanner bzw. Wölzer Tauern. Der Hohenwart liegt 25 km südlich von Liezen. Das Gebiet des Lachtals liegt ca. 10 km SE davon.

Der Mitterberg befindet sich bei der Ortschaft Übelbach und liegt 25 km NW von Graz und ist Teil der Gleinalpe. Der Pegmatitaufschluss bei Garrach liegt im Bereich des sogenannten Radegunder Kristallins ca. 20 km NE von Graz.

## 3 Regionalgeologischer Überblick

### 3.1 Ostalpin

Die Alpen sind entstanden durch die noch andauernde Kollision der Europäischen mit Teilen der Afrikanischen Platte. Sie lassen sich in West-, Ost- und Südalpen untergliedern. Die Arbeitsgebiete dieser Masterarbeit liegen im Ostalpin, welches den Großteil der Ostalpen bildet (Abbildung 2).

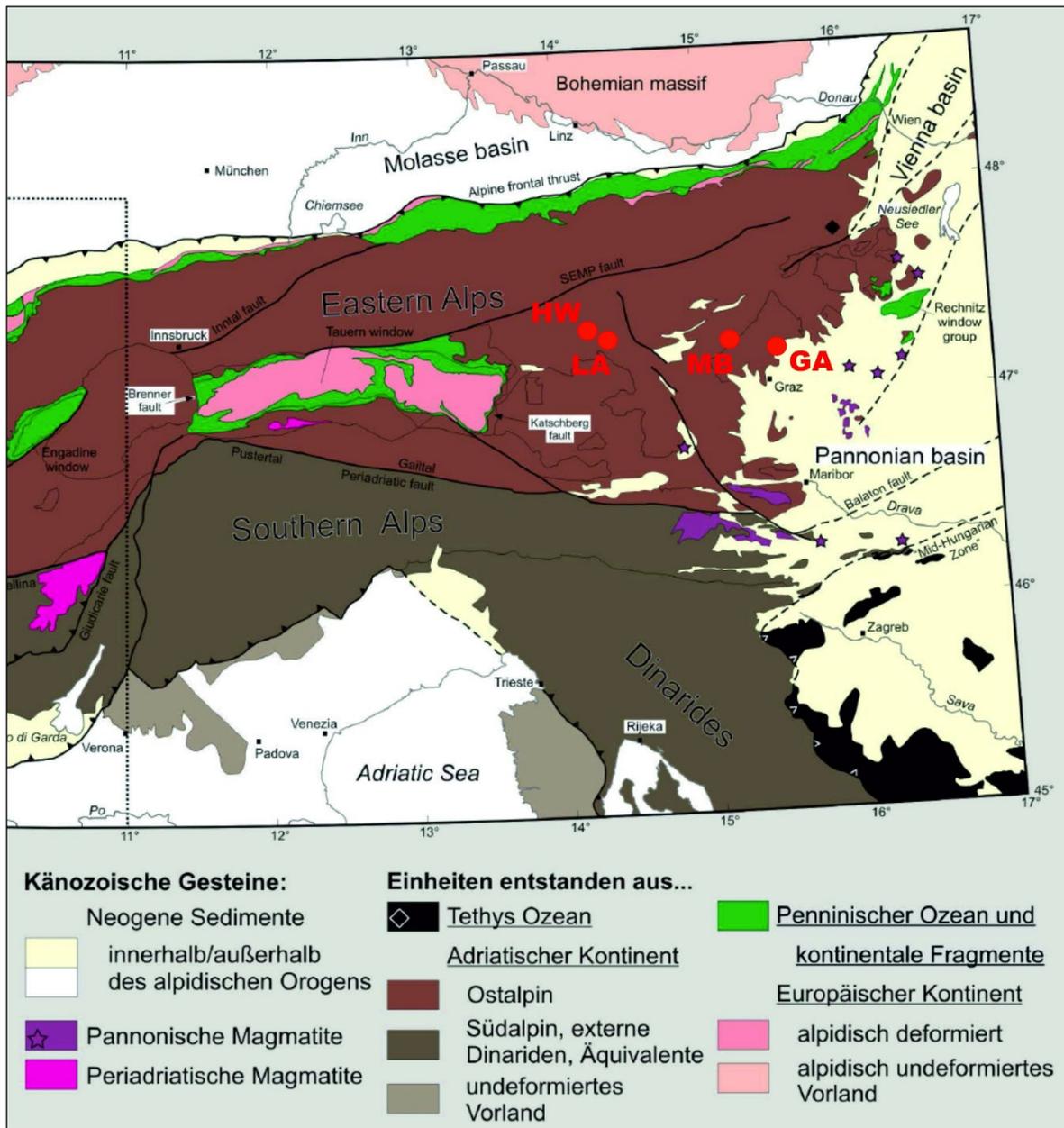


Abbildung 2: Geologische Übersichtskarte der Ost- und Südalpen mit den Arbeitsgebieten (aus *Froitzheim 2008*). HW .. Hohenwart; LA .. Lachtal; MB .. Mitterberg; GA .. Garrach

Das Ostalpin ist ein aus kristallinen Gesteinen, sowie aus paläozoischen und mesozoischen Sedimenten und Metasedimenten aufgebauter Deckenstapel.

Im frühen Paläozoikum war das Ostalpin Teil des Hun-Superterrane (*Stampfli & Borel 2004*). In einer Inselbogenumgebung lagerten sich durch Subduktionsprozesse entstandene Intrusiv- und Vulkangesteine ab (*Neubauer et. al 1999*).

Durch die variszische Gebirgsbildung im späten Paläozoikum (Oberes Devon bis Karbon) wurden die Gesteine des Ostalpins Teil von Pangäa. Während der Ausbildung der Varisziden erfuhren Teile des Ostalpins eine HP/LT Metamorphose (390 - 350 Ma) und eine darauffolgende thermische Überprägung (340 - 300 Ma). Nach der variszischen Gebirgsbildung kam es im Perm zu einer Ausdünnung der Lithosphäre, verbunden mit einer erhöhten magmatischen Aktivität und einer HT-Metamorphose in gewissen Teilen des Ostalpins, mit einem geothermischen Gradienten von 45°C / km. Der Höhepunkt der permischen Metamorphose, zwischen 280 - 260 Ma, war begleitet von der Ausbildung von Pegmatitgängen in metamorphen Gesteinen der oberen Amphibolitfazies (*Schuster & Stüwe 2008*).

Von der Trias bis in den mittleren Jura war das Ostalpin ein Segment (passiver Kontinentalrand) am nordwestlichsten Teil der Neotethys. Mit der Abkühlung auf einen geothermischen Gradienten von 25°C / km und der damit verbundenen Subsidenz der Lithosphärenplatte um 200 Ma, kam es zur Ablagerung von mächtigen Sedimentserien (Karbonatplattformen). Nach der Öffnung des Penninischen Ozeans im mittleren Jura bildeten die Gesteine des Ostalpins einen Teil des Nordrandes des Adriatischen Sporns, welcher Teil der Afrikanischen Platte war. In der Kreide lösten sich beide voneinander und der ehemals Adriatische Sporn driftete als eigenständige Adriatische Platte nordwärts gegen Europa. Das Ostalpin war Teil der Unterplatte und erfuhr eine durch Subduktion entstandene HP / LT - Metamorphose in der Oberkreide mit dem Höhepunkt um 100 ± 10 Ma. Danach kam es zur Hebung der tiefliegenden Gesteinsschichten, verbunden mit einer Barrow-Typ Regionalmetamorphose zwischen 90-65 Ma (*Thöni 1999*).

Im Zuge der alpidischen Orogenese wurde das Ostalpin von der Unterkruste und vom Mantel abgetrennt und zu einem Deckenstapel geformt. Dieser wurde auf die Penninischen Einheiten / Decken aufgeschoben (*Schmid et al. 2004*).

Die bekanntesten tektonischen Gliederungen der Deckenstapel des Ostalpins stammen von *Tollmann 1977* und von *Schmid et al. 2004*. Während Tollmann das Ostalpin in ein Ober-, Mittel- und Unterostalpin untergliedert, wird es nach Schmid nur in ein Ober- und Unterostalpin untergliedert.

Der Deckenstapel des Ostalpins wird nach der neueren Klassifikation von *Schmid et al. (2004)* wie folgt weiter untergegliedert: (Die Nummern in Klammer entsprechen den Decken in Abbildung 3)

- 1) Nördliche Kalkalpen und Grauwackenzone (Oberostalpin) (15, 18, 19)
- 2) Grundgebirgsdecken des Oberostalpins
  - a. Drauzug-Gurktal (20)
  - b. Ötztal-Bundschuh (21)
  - c. Koralpe-Wölz HP (22)
  - d. Silvretta-Seckau (23)
- 3) Unterostalpin mit Radstädter Tauern und Wechseldecke

Die bearbeiteten Pegmatitvorkommen liegen alle im oberostalpinen Koralpe-Wölz HP - Deckensystem (Abbildung 3).

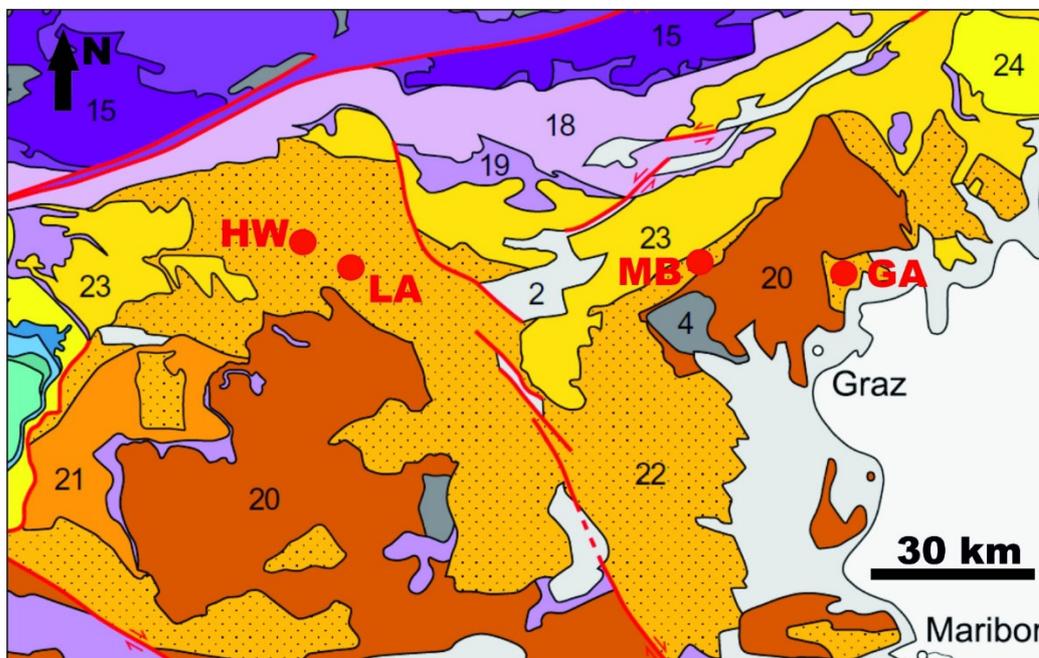


Abbildung 3: Deckengliederung nach *Schmid et al. 2004*.  
 2 ... neogene Becken  
 4 ... Gosau

### 3.2 Koralpe-Wölz HP-Deckensystem

Das Koralpe-Wölz Deckensystem wird als metamorpher Extrusionskeil, der während des eoalpidischen Ereignisses in der Oberkreide entstand, beschrieben. Der Metamorphosehöhepunkt lag im Turonium um 92 Ma. Die am stärksten metamorph überprägten Bereiche mit Eklogiten, befinden sich im Kern dieser Einheit. Sowohl zum Hangenden als auch zum Liegenden hin nimmt der Metamorphosegrad ab. Typisch ist das Fehlen von progradierenden permo-triassischen Sedimentserien. Im Koralpe-Wölz Deckensystem lassen sich verschiedene Komplexe scharf voneinander abgrenzen

(Abbildung 4). An den Grenzen treten häufig Metamorphosesprünge auf. Dies deutet daraufhin, dass es sich um alpine Deckengrenzen handelt (*Schmid et al. 2004, Schuster & Stüwe 2010*).

Die bearbeiteten Pegmatitvorkommen befinden sich alle im Rappold Komplex (Abbildung 4).

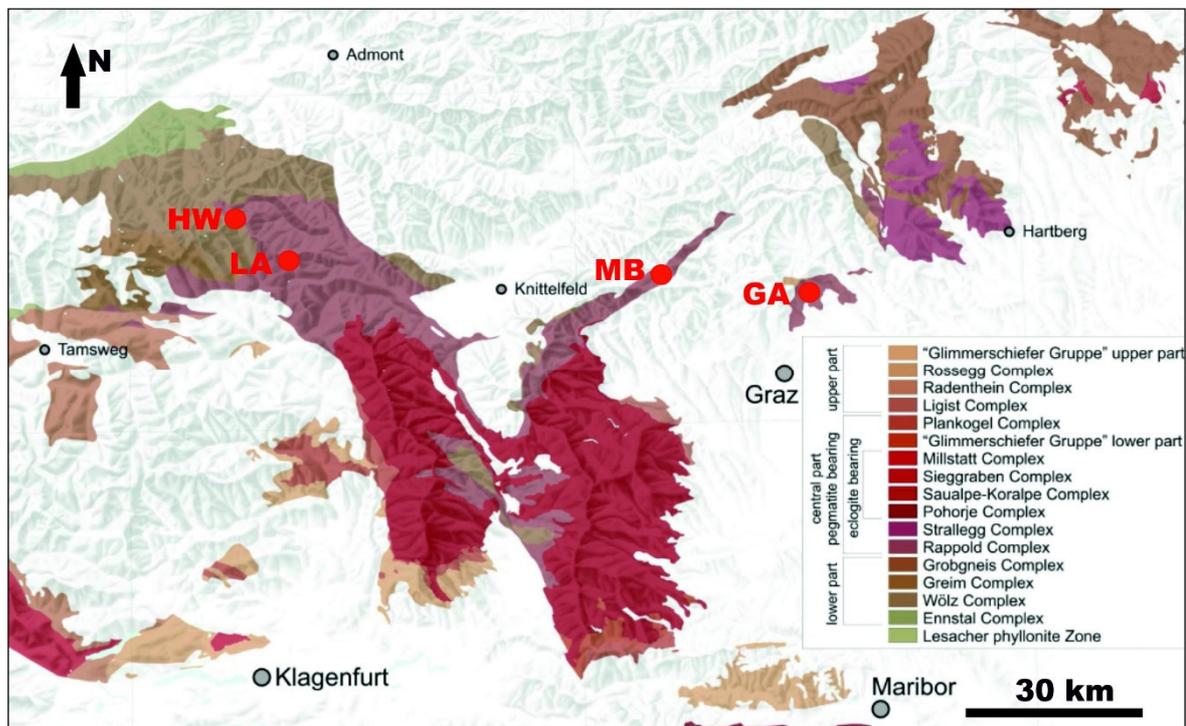


Abbildung 4: Komplexe der Koralpe-Wölz Decke. (bearbeitet aus den Vorlesungsunterlagen von *Ralf Schuster* zur Vorlesung Regionale Geologie)

### 3.3 Rappold Komplex

Der Rappold Komplex besteht aus grafitischen granat- und staurolithführenden Glimmerschiefern mit häufig eingeschalteten Marmorlagen und Pegmatiten. Amphibolitlagen treten seltener auf. Tektonisch unterhalb des Rappold Komplexes liegt der Wölz Komplex. Dieser besteht aus grafitischen granatführenden Glimmerschiefern mit häufigen Einschaltungen von Paragonit-Amphiboliten und seltenen Marmor- und Quarzitlagen. Tektonisch über dem Rappold Komplex liegt der Saualpe-Koralpe Komplex. Dieser besteht aus verschiedenen Glimmerschiefern und kyanitführenden Paragneisen mit Einschaltungen von Marmoren, Eklogiten und Amphiboliten. Weiters finden sich Gesteine magmatischen Ursprungs wie Metagabbros, Pegmatitgneise und der Wolfsberger Granitgneis in diesem Komplex (*Schuster et al. 2001*).

Der Rappold Komplex wird auch als Glimmerschiefer-Marmor Komplex bezeichnet und als höher metamorphes Äquivalent der fossilführenden Schöckel-Murau Fazies, eine zwischen dem Silur und Devon abgelagerte Schelfsequenz, gedeutet (*Neubauer 1988*).

### 3.4 Pegmatite in den Ostalpen

Die Pegmatite der Ostalpen treten in amphibolitfaziell überprägten Metamorphiten, vor allem des Koralpe-Wölz Deckensystems, auf. Zwischen den Pegmatiten wird unterschieden zwischen spodumenführenden, höher differenzierten und spodumenfreien (gemeinen) Pegmatiten. Die Genese der beiden Pegmatittypen wurde in der Literatur oft unterschiedlich gedeutet. So wurden die spodumenfreien Pegmatite als partielle Aufschmelzungen von Metasedimenten und die spodumenführenden Pegmatite, vor allem der Koralpe, als hochdifferenzierte magmatische Restschmelzen von Graniten gedeutet (Habler & Thöni 1998, Göd 1989).

Die Arbeiten von Thöni & Miller (2000) und Thöni et al. (2009) zeigen geochemische Charakteristika, welche auf eine anatektische Entstehung, auch für die spodumenführenden Pegmatite, hindeuten. Weitere Indizien sind das Fehlen großer Intrusionskörper in den jeweiligen Decken und das fast ausschließliche Auftreten der Pegmatite als konkordante Lagen und Linsen. Die Pegmatite haben Mächtigkeiten von wenigen dm bis mehrere Meter und erstrecken sich über wenige Meter bis mehrere Kilometer.

Die vier in dieser Arbeit untersuchten Pegmatitareale sind alle spodumenführend. In Abbildung 5 sind die von Mali (2012) erfassten, spodumenführenden Pegmatitareale der Ostalpen eingezeichnet.

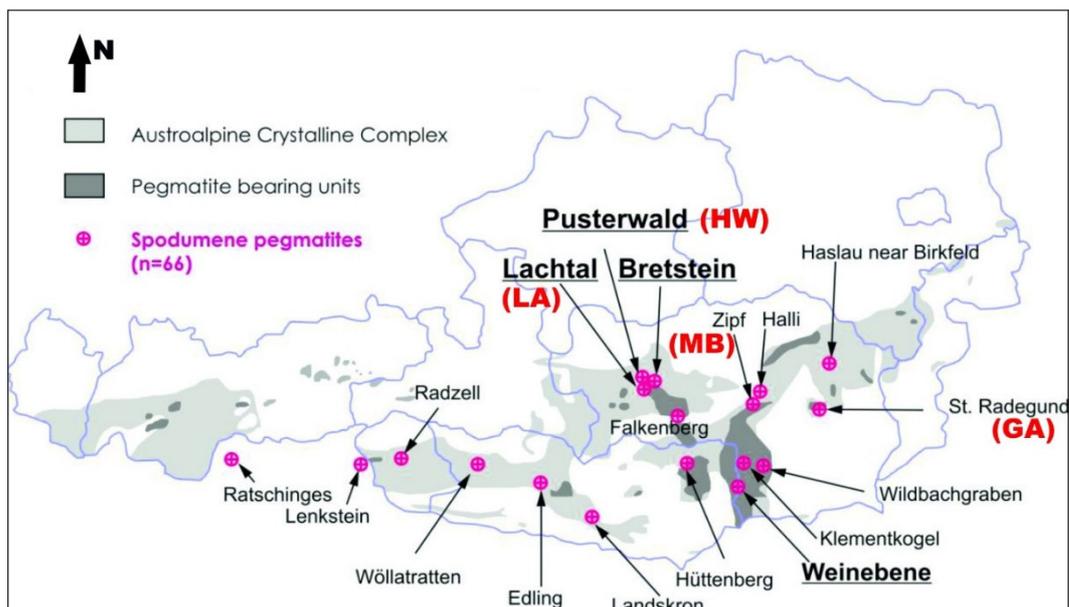


Abbildung 5: Lokalitäten von spodumenführenden Pegmatiten in den Ostalpen (bearbeitet, nach Mali 2012).

## 4 Methodik

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden unterschiedliche geologische, mineralogische, chemische und aufbereitungstechnische Methoden angewandt. Es wurden vier Pegmatitareale untersucht. Ausgewählt wurden höher differenzierte Spodumenpegmatite.

### 4.1 Geologische Geländearbeit und Aufschlussaufnahmen

Die geologische Feldarbeit umfasste die Detailkartierung (Maßstab 1:10 und 1:20) und die Aufnahme der strukturgeologischen Daten der Pegmatite sowie der umgebenden Gesteine. Die Pegmatite sind zoniert. Die unterschiedlichen Zonen unterscheiden sich megaskopisch in ihrer Mineralparagenese und / oder der Korngröße. Die Paragenese Quarz + Kalifeldspat + Plagioklas tritt in fast allen Zonen auf, mit Unterschieden in der Menge der einzelnen Minerale und in der Korngröße. Zusätzlich kann man megaskopisch Paragenesen mit den Mineralen Turmalin, Muskovit, Granat und Spodumen unterscheiden.

Die Aufnahme der einzelnen Pegmatitaufschlüsse erfolgte im cm bis dm Bereich (siehe Aufschlusskizzen in Kapitel 5). Die Aufschlusskizzen wurden mittels *CorelDraw* digitalisiert und, wenn vorhanden, mit Fotos der Aufschlüsse korreliert.

Beim Mitterberg bei Übelbach wurden fünf Pegmatitaufschlüsse kartiert. Im Lachtal wurde ein Pegmatitaufschluss aufgenommen, die restlichen Proben stammen aus anstehenden Pegmatiten sowie Pegmatitrollstücken. Drei der vier Pegmatitaufschlüsse des Hohenwart wurden bereits von *Senzenberger (2001)* kartiert und dessen Aufschlusskizzen werden in dieser Masterarbeit bearbeitet übernommen. Beim Pegmatit von Garrach wurden zwei zusammenhängende Aufschlüsse kartiert.

### 4.2 Probenahme

Im Rahmen der geologischen Geländearbeit wurden Proben aus unterschiedlichen Zonen der jeweiligen Aufschlüsse und von Pegmatitrollstücken entnommen. Die Probemenge betrug jeweils mehrere Kilogramm. Aufgrund der Zähigkeit der Pegmatite konnten Proben teilweise nur aus mehreren gemeinsamen Zonen entnommen werden. In Summe sind es 48 Proben aus den unterschiedlichen Gebieten und Zonen der Aufschlüsse. Deren geographische Position wurde mit GPS (WGS84) bestimmt und ist in den Aufschlusskizzen rot eingezeichnet (siehe Aufschlusskizzen Kapitel 5 und Probenliste - Tabelle 7 im Anhang).

Die Proben werden wie folgt bezeichnet:

AABBCC

AA ... Abkürzung der Lokalität

MB ... Mitterberg

GA ... Garrach

HW ... Hohenwart

LA ... Lachtal

BB ... fortlaufende Nummer der Aufschlüsse bzw. Rollstücke

CC ... fortlaufende Probennummer der jeweiligen Lokalität

### 4.3 Aufbereitung der Proben

Aus den Proben wurden 26 Dünnschliffe (28 x 40 mm, Dicke ca. 30µm) für mikroskopische Untersuchungen angefertigt. Des Weiteren wurden von Schwermineralkonzentraten etwa 50 Anschliffe (rund, 1 Zoll) hergestellt. Von einigen Proben wurden mehrere Anschliffe, von mit unterschiedlichen Aufbereitungsmethoden separiertem Material, angefertigt.

Ein Ziel dieser Masterarbeit war es, geeignete und effiziente Aufbereitungsmethoden für die Gewinnung der Schwerminerale, im speziellen der Nb-Ta führenden Minerale, zu finden und zu vergleichen. Die Probemenge betrug zwischen 1 und 2 kg. Die Aufbereitung erfolgte in zwei Stufen; der Zerkleinerung und der Separation der Schwerminerale.

Es wurden zwei Zerkleinerungsmethoden angewandt:

- 1) Electric Pulse Dissaggregation (EPD) am Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie an der Montanuniversität Leoben,
- 2) Backenbrecher des Typs BB200 der Firma Retsch am Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung und Veredelung an der Montanuniversität Leoben.

EPD basiert auf einer Probenzerkleinerung mittels Hochspannung. Aufgrund der unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeit der Minerale treten Spannungen an den Korngrenzen auf, welche zum Bruch des Gesteins führen (*Rudashevsky et al. 1995*). Die Zerkleinerung mittels Backenbrecher erfolgte stufenweise auf eine Korngröße kleiner 1 mm. Der Zerkleinerungsgrad richtet sich beim Backenbrecher einzig nach der Maulweite des Brechers.

Bei der EPD zeigte sich eine Abhängigkeit der Korntrennbarkeit von der „Zähigkeit“ des Gesteins. Bei zwei Proben aus Mitterberg lag der Massenprozentsatz der Fraktion 0 – 500 µm bei 15 und 18 %, bei einer Probe aus Garrach lag dieser bei nur 6 %.

Zur Separation der Schwerminerale wurde mit drei Methoden gearbeitet:

- 1) Waschpfanne (Durchmesser 16 Zoll)
- 2) Dichtentrennung mittels Schwereflüssigkeit (Natriumpolywolframat)
- 3) Frantz-Magnetscheider

Mit der Waschpfanne wurden sowohl Vorkonzentrate als auch finale Schwermineralkonzentrate hergestellt.

Als Schwereflüssigkeit wurde Natriumpolywolframat (NAPW) mit einer Dichte von 2,95 g / cm<sup>3</sup> verwendet. Beim NAPW kann man die Dichte variieren. Die Dichte wurde so gewählt, da mit Zunahme der Dichte die Viskosität exponentiell ansteigt und damit nicht mehr effizient gearbeitet werden kann. Beim Frantz-Magnetscheider wurde mit unterschiedlichen Stromstärken (0,10; 0,25; 0,50 Ampere) gearbeitet. Die Längsneigung der Vibrorinne war 10° und die Querneigung 3°.

## 4.4 Mikroskopie und Raman Spektroskopie

Für die Durch- und Auflichtmikroskopie wurde ein Zeiss AXIO Scope.A1 Polarisationsmikroskop mit einer daran angeschlossenen Zeiss AXIO Cam Erc 5s Digitalkamera und der Software AxioVision Re.4.8.2.0 verwendet.

Die Ramanspektren von Mineralen wurden mit einem ISA JobinYvon LABRAM Raman Spektrometer unter Verwendung eines 120mW Doppelfrequenz Nd-YAG Lasers mit einer Wellenlänge von 532,2 nm gemessen. Zur Kalibrierung wurde Silikon und Polyethylen verwendet. Die Spektren wurden in dem Bereich 180 bis 2000 cm<sup>-1</sup> mit einer Auflösung von ± 2cm<sup>-1</sup> aufgenommen und die Phasen wurden durch Vergleich mit Spektren in der RRUFF Datenbank ([www.ruff.info](http://www.ruff.info)) identifiziert.

Beide Geräte stehen am Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie an der Montanuniversität Leoben.

## 4.5 Elektronenstrahlmikrosonde

Die Analysen mit der Elektronenstrahlmikrosonde (EPMA) wurden am Eugen Stumpfl Mikrosondenlabor des Universitätszentrums Angewandte Geowissenschaften Steiermark (UZAG) an der Montanuniversität Leoben mit einer JEOL JXA 8200 Superprobe durchgeführt. Einzelne Mineralphasen wurden zuerst mittels der energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDS) qualitativ identifiziert. Die anschließende quantitative Analyse der unterschiedlichen Elemente einer Mineralphase erfolgte mit der wellenlängendispersiven Röntgenspektroskopie (WDS).

Die vom Gerät ausgewiesenen Nachweisgrenzen (D.L.) werden mit der folgenden Formel berechnet:

$$D.L. = \left( \frac{1}{\frac{I_{netSTD}}{mass(\%)_{STD}}} \right) * \frac{\sqrt{(2 * I_{back})}}{t_{back}}$$

$I_{back}$ : Durchschnittliche Intensität der Hintergrundröntgenstrahlung

$t_{back}$ : Zählzeit der Hintergrundsignale

$I_{netSTD}$ : Intensität der Nettoröntgenstrahlung des Standards

$mass(\%)_{STD}$ : Gewichtsprozent des Elements im Standard

Es wurde mit drei unterschiedlichen Messprogrammen mit folgenden Messbedingungen gearbeitet:

#### 4.5.1 Feldspäte

Die Hauptelementzusammensetzung einiger Feldspäte wurde an polierten Dünnschliffen gemessen. Die Messbedingungen und Nachweisgrenzen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Beschleunigungsspannung 15 kV und Probestrom 40 nA.

Element	Röntgenstrahlung	Kristall	Peakposition [nm]	Nachweisgrenze [ppm]	Peak [s]	Background [s]	Standard
Al	K $\alpha$	TAP	90.643	29	20	10	OrthoclaseLB
Si	K $\alpha$	PETH	228.272	30	20	10	Wollastlblast
Mn	K $\alpha$	LIFH	146.133	61	20	10	SPI39Rhod
Rb	L $\alpha$	TAP	79.484	293	30	15	8Pollucite
K	K $\alpha$	PETH	119.762	18	30	15	41_K_Sanid_KK
Fe	K $\alpha$	LIFH	134.605	67	30	15	34olivineLB
Mg	K $\alpha$	TAP	107.525	44	15	5	34olivineLB
Ca	K $\alpha$	PETH	107.473	23	20	10	Wollastlblast
Na	K $\alpha$	TAP	129.475	45	20	10	41_K_Sanid_KK
Ti	K $\alpha$	LIFH	191.15	57	30	15	TitaniteLB15kv

Tabelle 1: Messbedingungen und Nachweisgrenzen für die Messung der Feldspäte.

#### 4.5.2 Muskovite

Bei den Muskoviten wurden die Hauptelemente mit EPMA und die Spurenelemente mittels LA-ICP-MS gemessen. Die Muskovite stammen aus unterschiedlichen Zonen der Pegmatite und wurden aus den zerkleinerten Proben manuell separiert. Die Muskovitkristalle wurden dann senkrecht zur Schichtfläche in Kunststoffformen (1 Zoll) eingebettet, mit Kunstharz ausgegossen und dann poliert. Die Messbedingungen und Nachweisgrenzen der EMPA sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Beschleunigungsspannung 15 kV und Probestrom 10 nA.

Element	Röntgenstrahlung	Kristall	Peakposition [nm]	Nachweisgrenze [ppm]	Peak [s]	Background [s]	Standard
F	K $\alpha$	LDE1	85.981	227	60	30	23FluoriteLB
Al	K $\alpha$	TAP	90.653	109	20	10	35_K_Plag_KE1
K	K $\alpha$	PETJ	119.702	153	15	5	41_K_Sanid_KE8
Si	L $\alpha$	PETH	228.29	118	20	10	OrthoclaseLB
Mn	K $\alpha$	LIFH	146.133	183	20	10	SPI39Rhod
Mg	K $\alpha$	TAP	107.53	114	20	10	FphlogopitelB

Ca	K $\alpha$	PETJ	107.405	144	20	10	WollastLblast
Fe	K $\alpha$	LIFH	134.605	217	20	10	34olivineLB
Na	K $\alpha$	TAP	129.481	154	20	10	AdularLB
Cl	K $\alpha$	PETJ	151.371	109	15	5	K_S1_AtackE1
Ti	K $\alpha$	LIFH	191.15	252	20	10	TitaniteLB15kv

Tabelle 2: Messbedingungen und Nachweisgrenzen für die Messung der Muskovite.

### 4.5.3 Nb-Ta-Mineraie

Es wurden aus jenen Anschliffen der Schwermineralkonzentrate in denen, mittels Auflichtmikroskopie und Ramanspektroskopie, Nb-Ta-Mineraie gefunden wurden, einzelne Minerale ausgewählt und mittels EPMA analysiert. Das Messprogramm ist abgestimmt auf die Messung von Columbiten. Daher kommt es bei der Messung anderer Nb-Ta-Mineraie, durch die Nichtmessung einzelner Elemente, zu Messergebnissen mit Gesamtprozenten von weit unter 100 %.

Die Messbedingungen und Nachweisgrenzen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Beschleunigungsspannung 30 kV und Probestrom 40 nA.

Element	Röntgenstrahlung	Kristall	Peakposition [nm]	Nachweisgrenze [ppm]	Peak [s]	Background [s]	Standard
Si	K $\alpha$	TAP	77.106	198	20	10	29kaers
Ti	K $\alpha$	PETJ	87.752	74	20	10	SPIRutile
Nb	L $\alpha$	PETH	183.302	73	50	25	ColtanMS139
Ta	L $\alpha$	LIFH	105.668	223	20	10	ColtanMS139
Ca	K $\alpha$	PETJ	107.381	50	20	10	29kaers
U	M $\alpha$	PETH	125.175	56	50	25	UraniniteCLB
Mn	K $\alpha$	LIFH	146.153	55	20	10	ColtanMS139
Sn	L $\alpha$	PETJ	115.145	138	20	10	12_Cassiterite
Fe	K $\alpha$	LIFH	134.599	60	20	10	ColtanMS139
Sc	K $\alpha$	PETJ	96.845	52	20	10	Sc10030kv
W	L $\alpha$	LIFH	102.47	325	20	10	ColtanMS139
Zr	L $\alpha$	PETJ	194.354	148	20	10	Zr
Hf	L $\alpha$	LIFH	109.006	140	20	10	Hf

Tabelle 3: Messbedingungen und Nachweisgrenzen für die Messung der Nb-Ta-Mineraie.

## 4.6 Mineral Liberation Analysis (MLA)

Die Ansliffe mit Columbiten und anderen Nb-Ta-Mineralen (31 Stück), welche mit der EPMA in Leoben gemessen wurden, wurden zusätzlich mittels Mineral Liberation Analysis (MLA) an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover unter Leitung von Fr. Dr. Maria Sitnikova gemessen.

Die Ansliffe (Kornpräparate der Schwermineralproben) bestehen aus Partikeln die aus Kristallen zusammengesetzt sind. Die Kristalle und damit die meisten Minerale lassen sich einerseits durch die räumliche strukturelle Anordnung der Atome (Kristallstruktur) und andererseits durch die Art und Häufigkeit der Atome (Kristallchemie) charakterisieren. Die Analyse mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) erfasst die chemische Zusammensetzung von Kristallen. Dazu wird die bei einem Beschuss der Probe mit dem Elektronenstrahl induzierte Emission von Elektronen (SE, BSE) und elementspezifischer Röntgenstrahlung (EDX) ausgewertet. Die Bestimmung und Unterscheidung der Minerale erfolgt hier also ausschließlich über deren chemische Zusammensetzung. Die Ergebnisse sind deshalb wegen der grundsätzlich anderen physikalischen Art des gemessenen Signals nur unter ganz speziellen Bedingungen mit den Ergebnissen kristallstruktureller Analytik wie der Röntgendiffraktometrie (RDA, XRD) direkt vergleichbar (*Fandrich et al. 2006*).

Das Analyse- und Auswerteverfahren mit dem REM gliedert sich in die drei Abschnitte:

- 1) BSE-Grauwertbild- und EDX-Spektrums-Aufnahmen
- 2) Klassifizierung und Gruppierung der EDX-Spektren
- 3) Erstellung der Datenbank und weitere Auswertung

Das Gerät zur MLA ist eine ESEM Quanta 600 FEG (Firma FEI) ausgestattet mit einem EDAX 32 Modul. Die Software zur Auswertung der Messdaten stammt von *Gu (2003)*. Typische Messzeiten sind zwei bis drei Stunden pro Ansliff. Alle Proben wurden mit 25 kV und 5 µm Strahlendurchmesser gemessen.

## 4.7 Laser-Ablation - induktiv-gekoppeltes-Plasma – Massenspektrometrie (LA-ICP-MS)

Die Spurenelementanalysen wurden durchgeführt unter Verwendung einer Laser Ablationseinheit (ESI NWR – 193) verbunden mit einem induktiv gekoppelten Massenspektrometer (Agilent 7500c) kurz LA-ICP-MS am Zentrallabor für Water, Minerals and Rocks, NAWI Graz (Universität Graz und Technische Universität Graz) unter Anleitung von Hr. Dr. Christoph Hauzenberger. Die Ablation der Muskovite wurde unter Verwendung eines mit 9 Hz pulsierenden 193 nm Lasers mit einem Strahlendurchmesser von 75 µm und einer Laserenergie vergleichbar mit  $\sim 7 \text{ J/cm}^2$  durchgeführt. Als Trägergas wurde Helium 5.0 mit einer Durchflussrate von ca. 0,7 l/min verwendet. Das Standardglas NIST612 wurde routinemäßig für die Standardisierung und Korrektur analysiert. Die Standardgläser BCR-2, SL-1 und NIST614 wurden als Unbekannte mitgemessen und konnten mit einem relativen Fehler von  $< 10 \%$  reproduziert werden. Silikat ( $m/z$  29) wurde als interner Standard verwendet. Die Konzentrationen wurden von den Rohdaten mit Glitter data reduction software (Macquarie University, Australia) berechnet. Die Nachweisgrenze der analysierten Elemente liegt in etwa bei 0,1 ppm.

Pro Anschliff wurden mehrere Muskovite aus vier Proben eingebettet. Pro Probe wurden zwei Muskovite an zwei unterschiedlichen Punkten gemessen. Daraus resultieren vier Messungen pro Probe.

## 5 Makroskopische Beschreibung der Aufschlüsse

Zur Beschreibung der Korngrößen werden folgende Klassen verwendet:

riesenkörnig: > 2,5 cm

grobkörnig: 1 – 2,5 cm

mittelkörnig: 0,5 – 1,0 cm

feinkörnig: < 0,5 cm

In den Skizzen der Aufschlüsse werden folgende Symbole verwendet:

 ... Spodumen

 ... Muskovit

 ... Turmalin

 ... Granat

### 5.1 Mitterberg

Die Aufschlüsse vom Mitterberg liegen etwa 2 km NW von Übelbach (Abbildung 6). Es wurden fünf Pegmatitaufschlüsse aufgenommen. Sie befinden sich entlang einer Forststraße. Der Aufschluss MB0101 wurde durch den Bau der Forststraße aufgeschlossen, die weiteren Pegmatite treten, aufgrund der höheren Verwitterungsbeständigkeit als das Nebengestein, markant aus dem Gelände hervor. Die Pegmatite haben Mächtigkeiten zwischen 0,5 – 2,0 m und Ausdehnungen von 2,0 – 10,0 m und treten, soweit erkennbar, als konkordante Linsen im Nebengestein auf. Die Kontaktzonen zu den Nebengesteinen sind nur bei MB01 aufgeschlossen. Als Nebengesteine finden sich Glimmerschiefer mit Lagen aus granatführenden Amphiboliten und Marmor. Die Gesteine sind leicht verfaltet und zeigen ein mittelsteiles Einfallen nach SE.

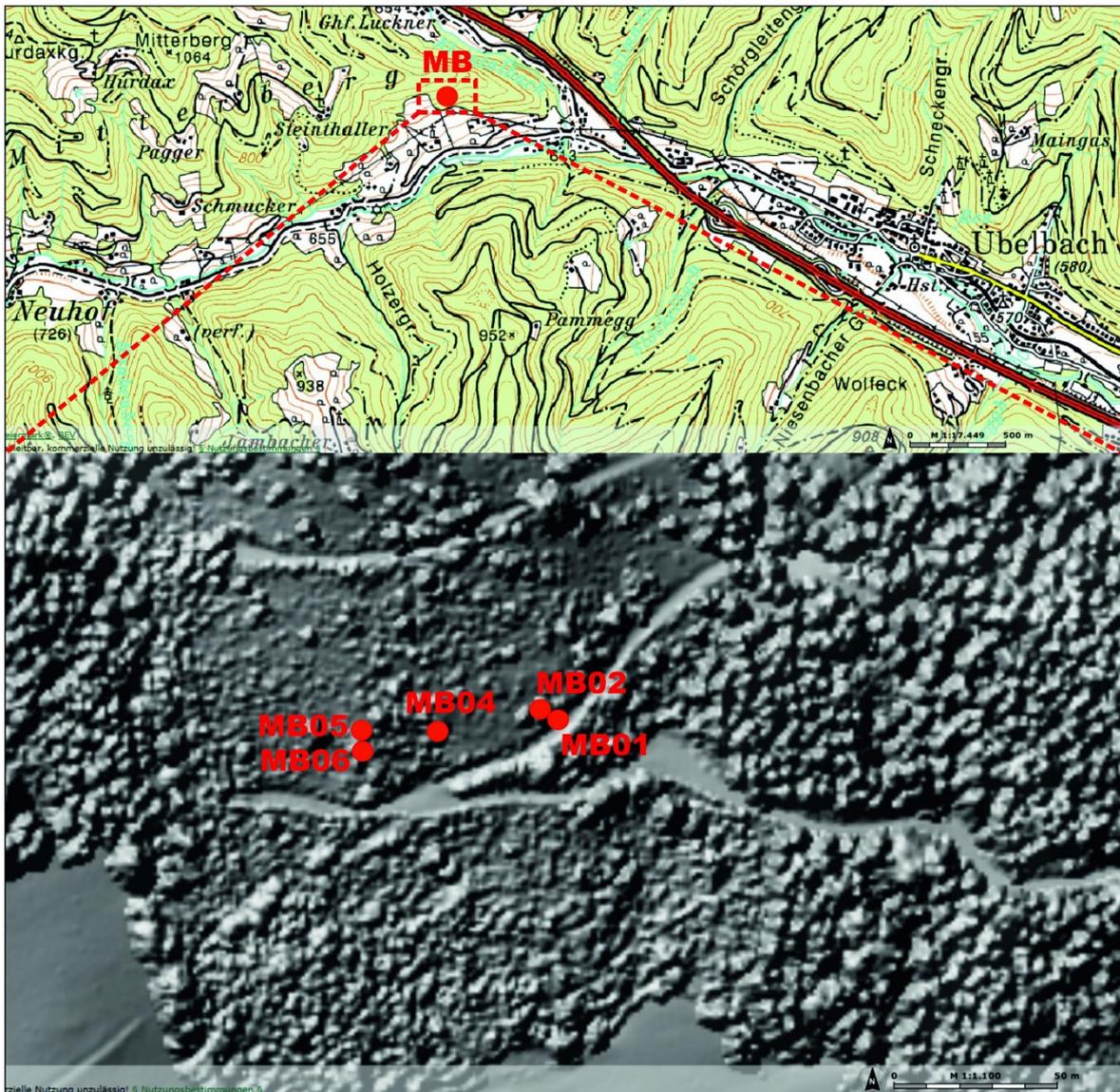


Abbildung 6: oben: Lage der Aufschlüsse beim Mitterberg WNW von Übelbach in der ÖK 50.000  
 unten: Vergrößerung mit Hintergrund als Airborne Laserscanning digitales Oberflächenmodell (ALS DOM), Quelle: (GIS Steiermark)

## MB01

Der Pegmatitaufschluss MB01 wurde durch den Bau der Forststraße aufgeschlossen. Er tritt als konkordante Linse im Nebengestein auf und hat eine Mächtigkeit von 0,5 m und eine Ausdehnung von 2,0 m (Abbildung 7). Das Nebengestein ist Marmor. Der Kontakt ist markant. An der Kontaktzone ist der Marmor grobkörnig und rein-weiß um danach, innerhalb eines Meters von der Kontaktzone, feinkörnig, grau und leicht geschiefert zu werden. Auch im Pegmatit ist eine Zonierung, abhängig vom Kontakt zum Marmor, erkennbar. Direkt an der Kontaktzone findet sich eine zwei cm mächtige Zone mit feinkörnigem Turmalin. Danach folgt eine mittel- bis grobkörnige Zone mit Turmalin und Granat mit einer Mächtigkeit zwischen 10 – 20 cm. Der Großteil des Pegmatits besteht aus der riesenkörnigen internen Zone. Diese besteht, zusätzlich zu den in allen Zonen auftretenden Mineralen Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas, aus feinkörnigem Granat und

riesenkörnigem Muskovit. Die Muskovite sind sehr markant, mit Durchmessern bis zu 10 cm und einer Dicke von mehreren cm bilden sie mächtige Pakete. Dieser Aufschluss enthält Columbit.

## **MB02**

MB02 liegt 5 m NW von MB01 in der Böschung (Abbildung 8) und hat eine Ausdehnung von 1,0 x 2,5 m. Der Kontakt zum Nebengestein ist nicht aufgeschlossen. Der Pegmatit hat fleischfarbene Bereiche, in denen feinschichtige limonitische Verwachsungen auftreten. Es lassen sich zwei Zonen unterscheiden. Eine Zone besteht aus Quarz, Plagioklas, riesenkörnigem Turmalin und grobkörnigem Muskovit. Turmalin ist häufig. Er hat Durchmesser bis 3 cm mit Längen bis 15 cm. In dieser Zone tritt kein Kalifeldspat auf. Die zweite Zone liegt eingebettet in der Ersten. Sie enthält Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, wenig feinkörnigen Muskovit und wenig feinkörnigen Spodumen. Die Probe MB0203 aus dieser Zone enthält Columbit und wurde für Aufbereitungsversuche (siehe Kapitel 7.1) verwendet.

## **MB04**

Der Aufschluss MB04 liegt 30 m westlich von MB02 und hat eine Ausdehnung von 3,0 x 1,5 m (Abbildung 9). Es lassen sich fünf Zonen voneinander unterscheiden. Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas treten in allen Zonen auf. Die Kalifeldspäte erreichen in einer Zone Durchmesser bis 20 cm. Turmalin tritt, bis auf eine Zone, in allen Zonen auf, die Korngrößen und Mengen unterscheiden sich in den unterschiedlichen Zonen erheblich. Die größten Turmaline haben Durchmesser bis 5 cm. Feinkörniger Granat tritt in einer Zone zusammen mit riesenkörnigem Muskovit auf. In zwei Zonen finden sich mittel- bis grobkörnige Spodumene. In den entnommenen Proben wurden keine Columbite gefunden.

## **MB05 und MB06**

MB05 und MB06 sind zwei aneinandergrenzende Pegmatite. Sie liegen 25 m westlich von MB04 und haben eine Ausdehnung von jeweils 4,0 x 2,0 m (Abbildung 10). Es treten jeweils vier unterschiedliche Zonen auf. Generell kann man zwischen turmalin- und spodumenführenden Zonen unterscheiden. Die Turmaline sind in einer Zone fein- und in der anderen grobkörnig. Die grobkörnige Zone enthält zusätzlich wenig feinkörnigen Granat. Die Spodumene sind in einer Zone mittel- bis grobkörnig und treten zusammen mit riesenkörnigem Muskovit auf. In der anderen bildet Spodumen riesenkörnige Kristalle mit Durchmessern bis 5 cm. Dort tritt er zusammen mit den überall auftretenden Mineralen Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas auf. Diese Zone ist reich an Columbit. Aus dieser Zone stammt die Probe MB0611, welche für Aufbereitungsversuche verwendet wurde.

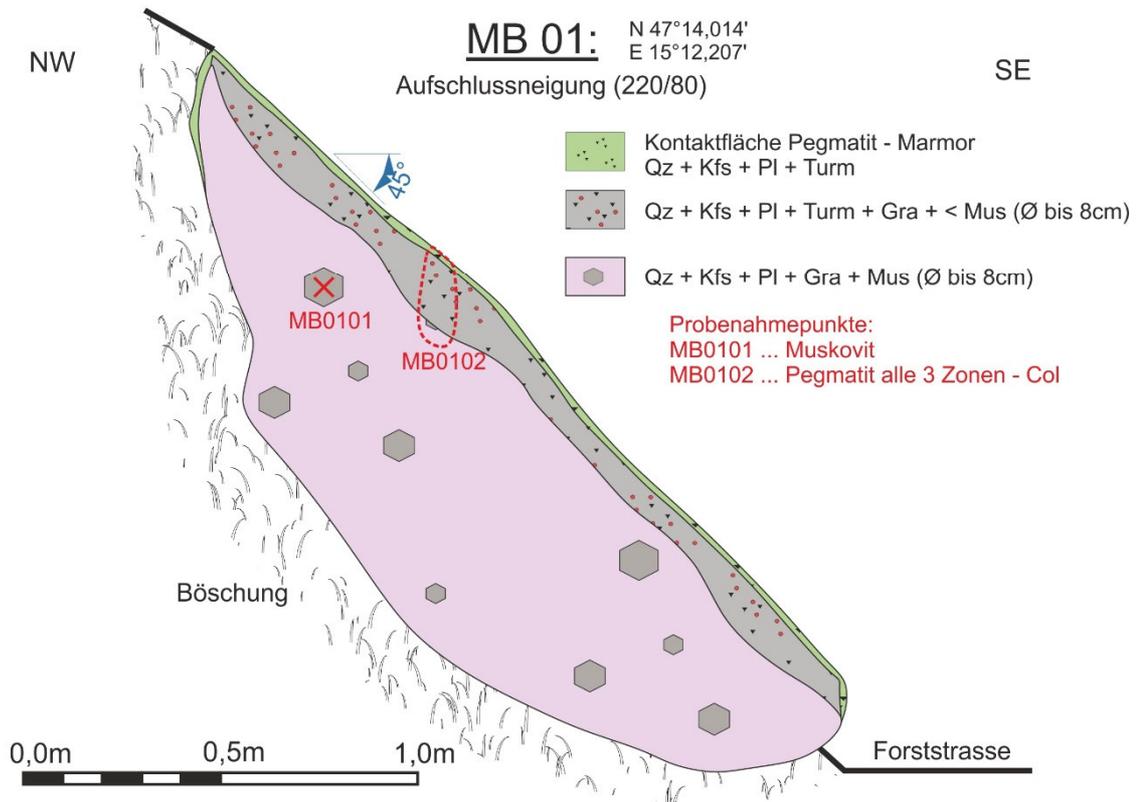


Abbildung 7: Aufschlusskizze und Foto von Aufschluss MB01, Mitterberg

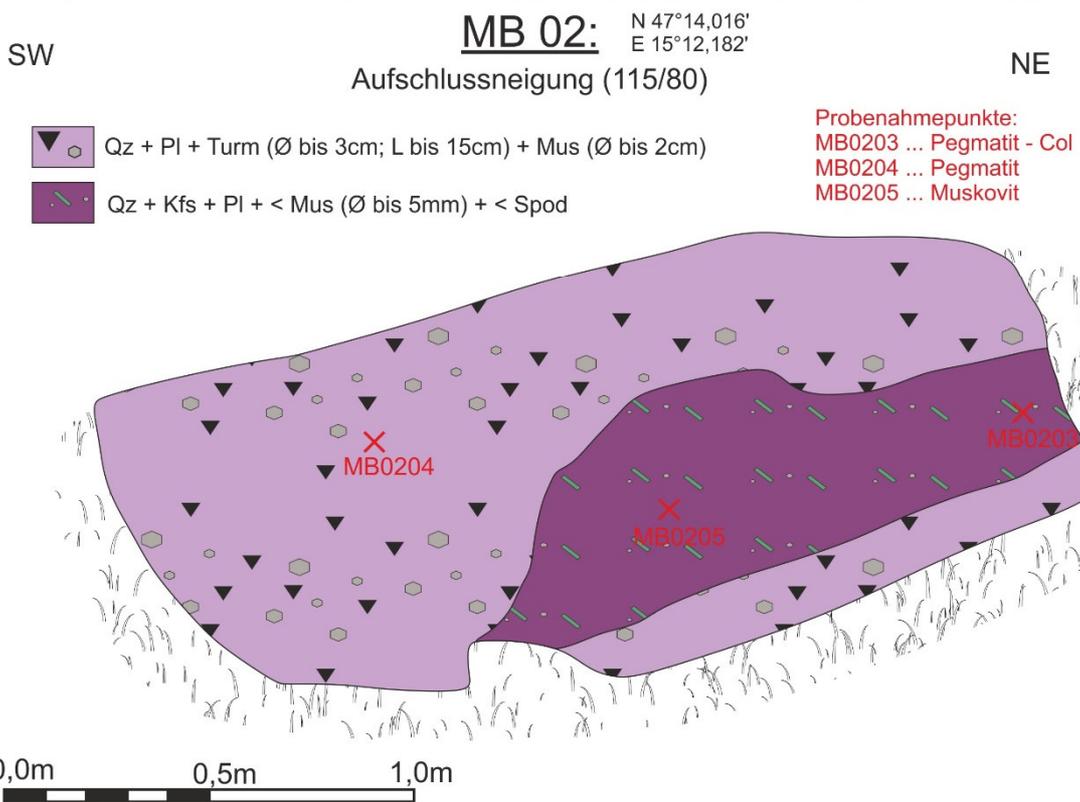


Abbildung 8: Ausschlusssskizze und Foto von Ausschluss MB02, Mitterberg.



S

**MB 04:** N 47°14,015'  
E 15°12,180'

Aufschlussneigung (080/85)

N

-  Qz + > Kfs (Ø bis 20cm) + Pl + < Turm
-  Qz + Kfs + Pl + Turm (Ø bis 5cm) + < Mus
-  Qz + Kfs + Pl + Gra (Ø bis 5mm) +  
Mus (Ø bis 5cm) + Turm (Ø 1-10mm)
-  Qz + > Kfs (Ø bis 15cm) + Pl + Spod
-  Qz + Kfs + Pl + Spod + < Turm

Probenahmepunkte:  
 MB0406 ... Pegmatit  
 MB0407 ... Pegmatit  
 MB0408 ... Muskovit

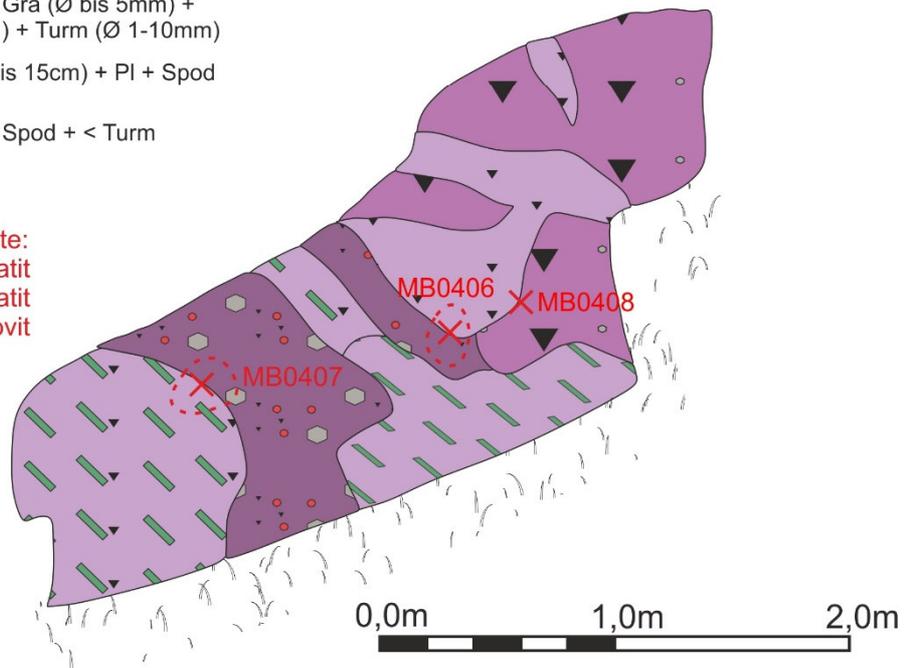


Abbildung 9: Aufschlussskizze und Foto von Aufschluss MB04, Mitterberg.

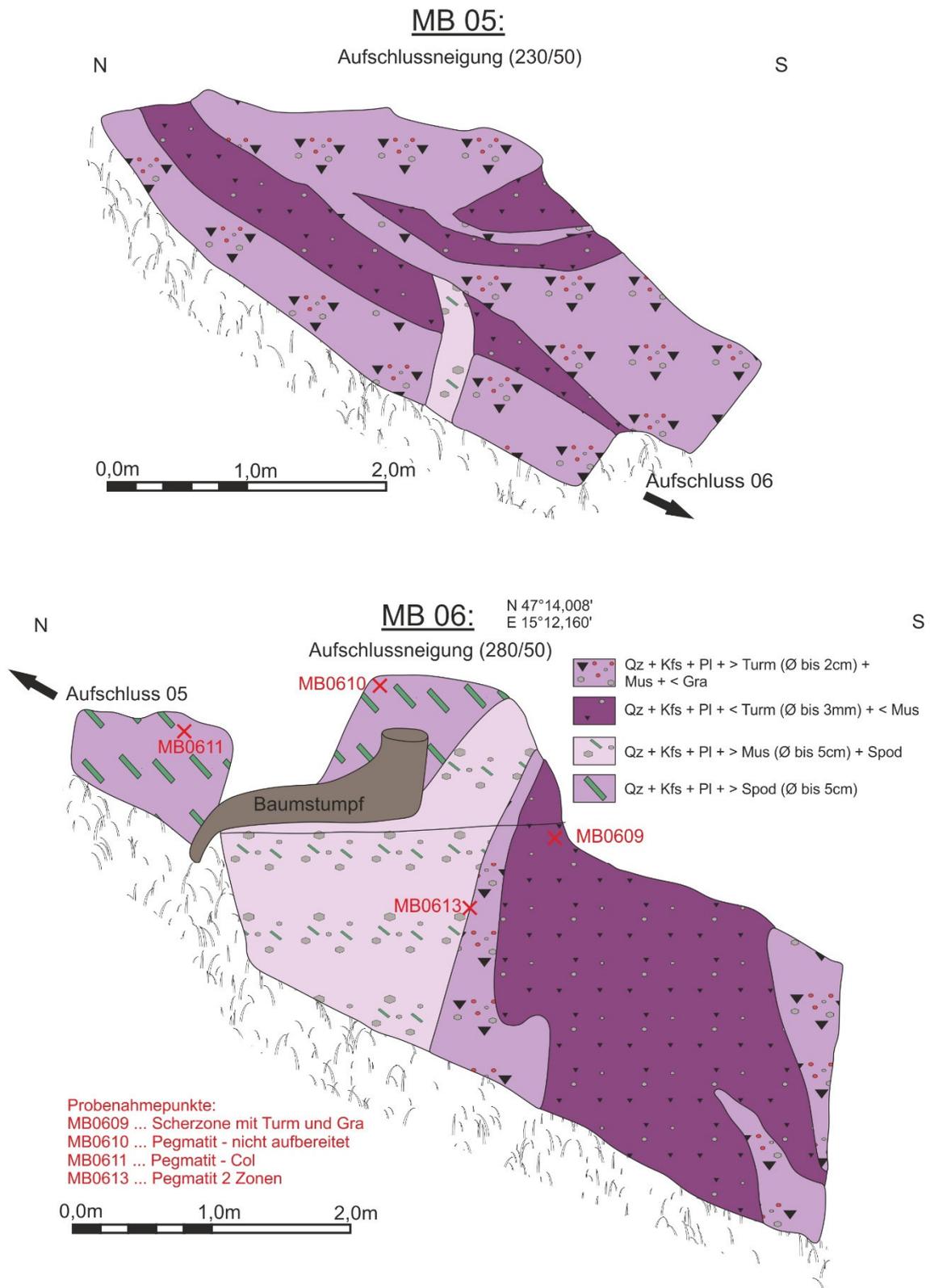


Abbildung 10: Aufschlusskizzen von MB05 und MB06, Mitterberg.

## 5.2 Garrach

Das Pegmatitvorkommen besteht aus zwei zusammenhängenden Aufschlüssen und liegt SW von der Gemeinde Garrach (Abbildung 11). Erstmals beschrieben und kartiert wurde er im Rahmen einer Kartierungsübung von Tassilo Adelsmayr und mir (*Adelsmayr & Ahrer 2012*). Er hat eine Gesamtlänge von ca. 12 m mit einer maximalen Mächtigkeit von 4 m und liegt konkordant im umgebenden Gestein. Um den Aufschluss verteilt liegen einige mehrere Kubikmeter große Pegmatitrollstücke. Der Pegmatit ist zониert, einige Zonen zeigen eine ausgeprägte Schieferung mit deformiertem Gefüge, wo mittel- bis riesenkörnige Feldspat- und Spodumeneinsprenglinge von sehr feinkörnigen Lagen aus Quarz und Spodumen umgeben sind. Die Nebengesteine sind leicht verfaltete, fein geschieferte Gneise und Glimmerschiefer. Das generelle Einfallen der Nebengesteine und des Pegmatits ist flach- bis mittelsteil nach SW.

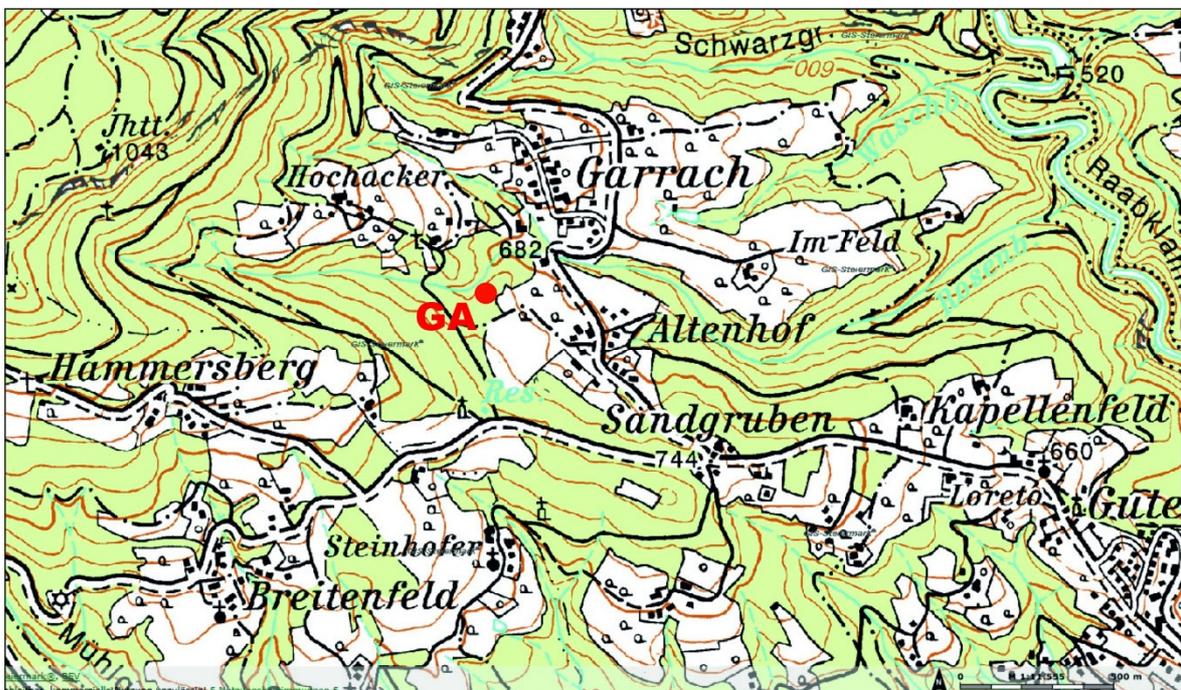


Abbildung 11: Lage des Pegmatits von Garrach in der ÖK 50.000. Quelle: GIS Steiermark

Der Pegmatit ist von außen nach innen schieferungsparallel zониert (Abbildung 13). Der Kontakt zum Nebengestein ist nicht aufgeschlossen. Die äußersten Zonen mit Mächtigkeiten zwischen 15 und 30 cm, die wahrscheinlich den Kontaktbereich zum Nebengestein bilden, finden sich in der Aufschlusskizze GA01. Die Aufschlusskizze GA02 zeigt den internen Bereich des Pegmatits, welcher nicht so ausgeprägt zониert ist.

Die äußerste Zone ist feinkörnig und stark geschiefert. Zusätzlich zu Quarz und den Feldspäten, welche in allen Zonen auftreten, kommen in geringen Mengen Granat, Muskovit und Spodumen vor. Bei der nächstinneren Zone nimmt die Korngröße auf mittelgrobkörnig zu und der Gehalt von Quarz, Muskovit und Spodumen steigt gegenüber den Feldspäten deutlich an. Danach folgt eine Zone mit viel riesenkörnigem Spodumen (bis 3 cm). Die nächste Zone ist reich an Muskovit, der bis 3 cm groß werden kann.

Die innerste Zone besteht hauptsächlich aus riesenkörnigen Feldspäten (meist hellweißer Albit). Zusätzlich kommen mittel- bis grobkörnige Quarze und Spodumene vor.

Der Pegmatit ist stark bemoost, dadurch ist eine klare Unterscheidung der Zonen schwierig.

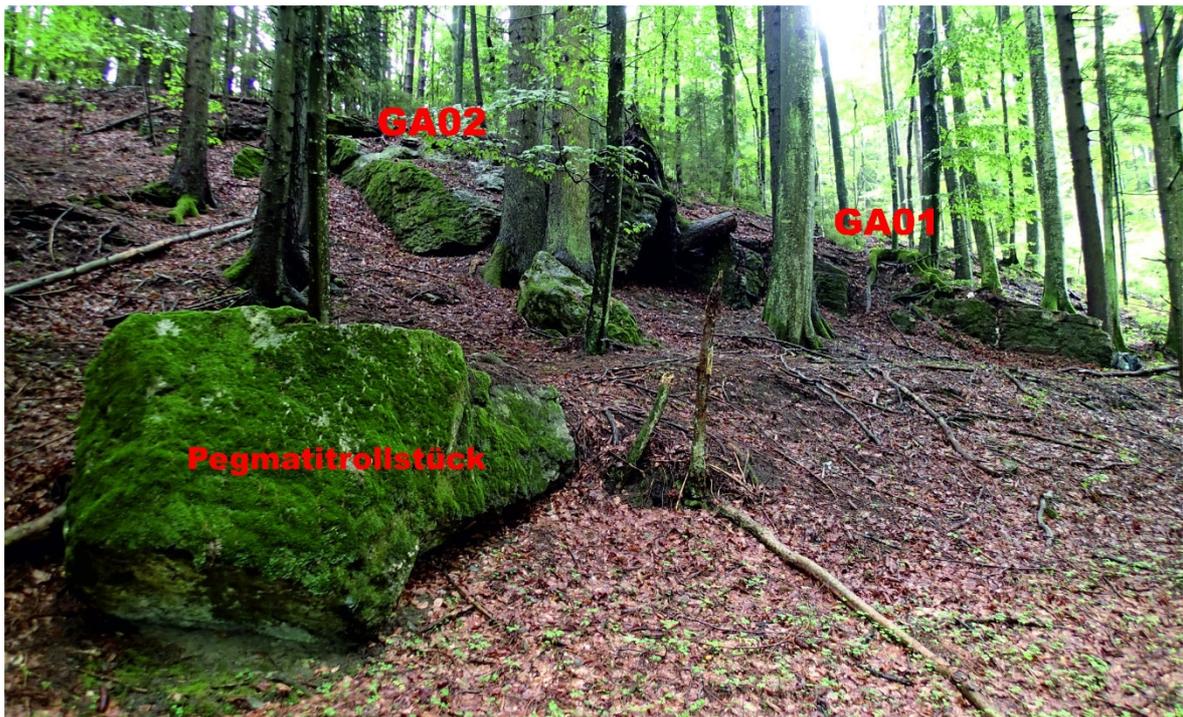


Abbildung 12: Aufschlussfoto vom Pegmatitvorkommen in Garrach.

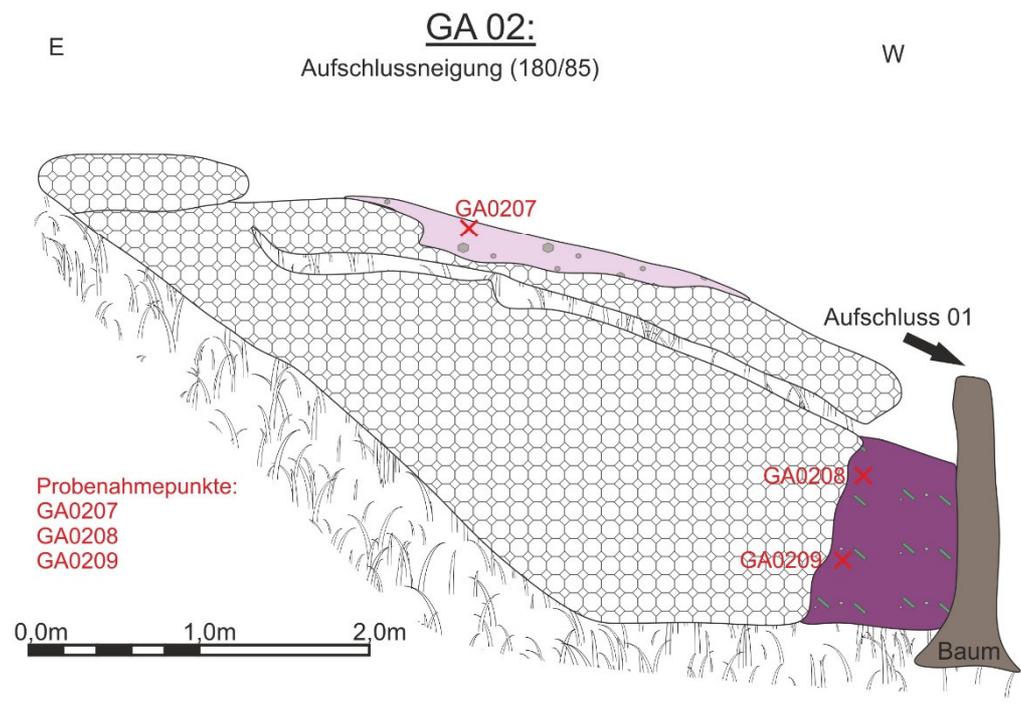
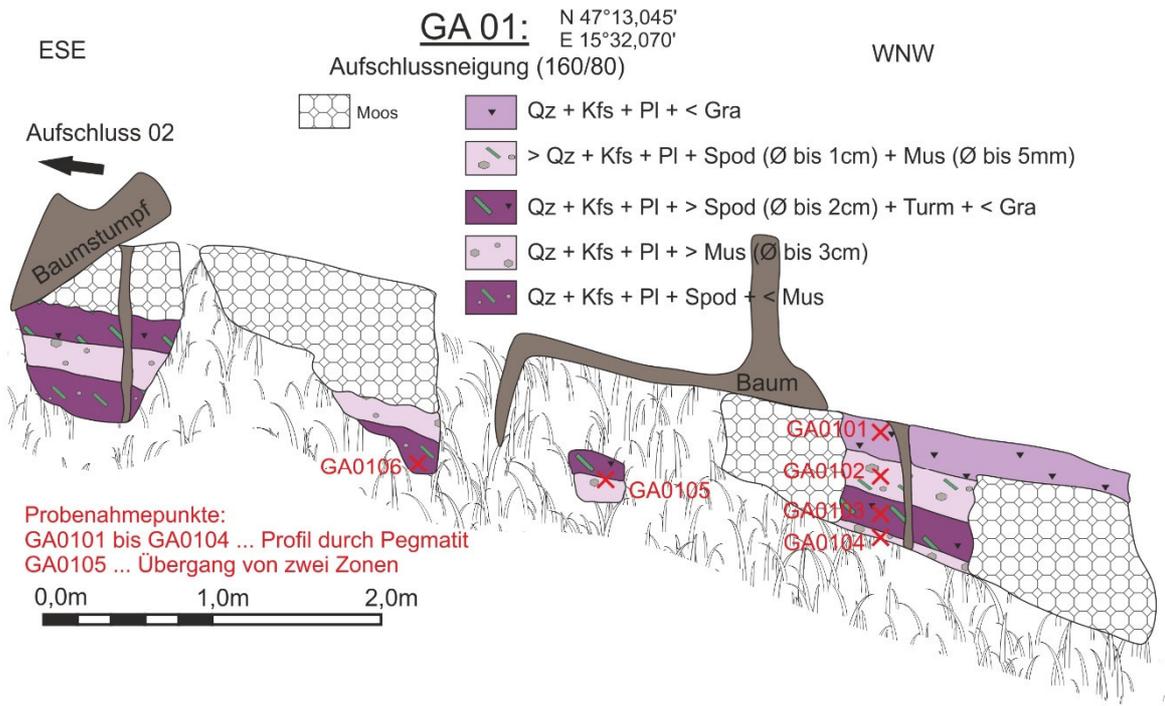


Abbildung 13: Ausschlusskizzen des Pegmatits von Garrach.

## 5.3 Lachtal

Im Gebiet des Schlatterbaches (Zinkenschlucht) im Lachtal wurden mehrere anstehende Pegmatite kartiert. Die weiteren Proben stammen von zwei Pegmatitrollstücken (Abbildung 14). Die Nebengesteine sind verfaltete Glimmerschiefer und fein geschieferte Gneise mit häufig auftretenden Quarzmobilisaten. Im Norden entlang des Gipfelkammes des Niederen Zinkens treten Marmorlinsen auf. Das generelle Einfallen der Schieferungsflächen ist mittelsteil nach NW. Die Pegmatite und Quarzmobilisate treten als konkordante Linsen mit Mächtigkeiten von wenigen dm bis mehreren m auf. Entlang der Zinkenschlucht finden sich mehrere Kubikmeter große Pegmatitrollstücke. Die größten Blöcke haben Kantenlängen von 5 m.

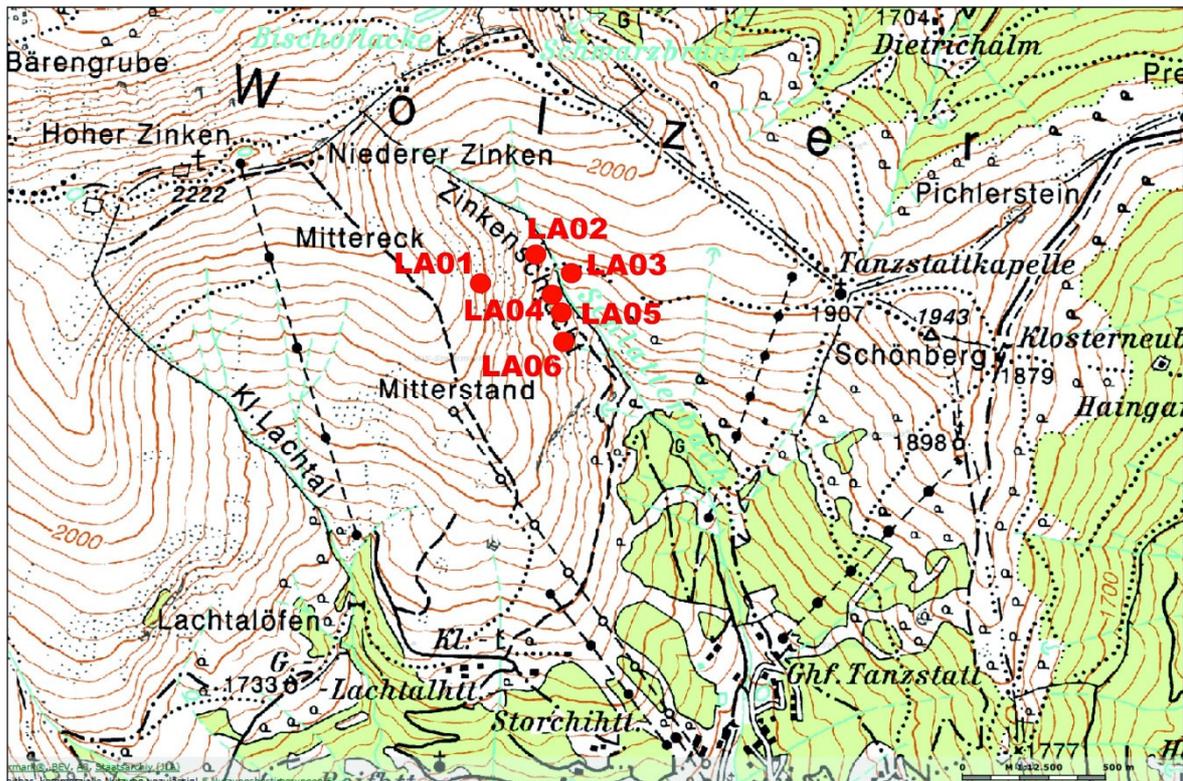


Abbildung 14: Überblick der bearbeiteten Aufschlüsse und Rollstücke im Lachtal. Quelle: GIS Steiermark

### LA01

Anstehender Pegmatit im Bereich der Westflanke der Zinkenschlucht. Es wurden zwei Proben genommen LA0101 und LA0102. Beide führen Quarz, Muskovit, Granat und viel Spodumen. LA0102 enthält zusätzlich Plagioklas. Beide Proben sind reich an Columbit.

## **LA02**

Anstehender zonierter Pegmatit mit Kontaktzone zum Nebengestein (Abbildung 16). Der Aufschluss hat eine Länge von 10 m und eine maximale Mächtigkeit von 2 m. Die Kontaktzonen sind 20 – 40 cm mächtig und unterscheiden sich markant in Ihrer Paragenese. In der nördlichen Kontaktzone treten zusätzlich zu den in allen Zonen auftretenden Mineralen Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas, riesenkörnige Muskovite mit Durchmessern bis 5 cm und feinkörnige nicht orientierte Turmaline auf. Die südliche Kontaktzone enthält keinen Muskovit. Es finden sich orientiert gewachsene mittel- bis grobkörnige Turmaline. Die Turmaline wachsen senkrecht zur Kontaktfläche. Die interne Zone ist gekennzeichnet durch viel riesenkörnigen Spodumen mit Durchmessern bis 5 cm und feinkörnigem Granat. Columbit finden sich nur in dieser internen Zone.

## **LA03**

Mehrere kubikmeter großer Pegmatitblock neben dem Schlatterbach aus dem eine Probe (LA0306) genommen wurde. Der Pegmatit ist geschiefert und zeigt schichtgranitischen Verwachsungen. Neben viel Quarz, Kalifeldspat und Plagioklas tritt Granat und wenig Spodumen auf. Die Probe enthält Columbit.

## **LA04**

Anstehender, undeutlich zonierter Pegmatit mit Spodumen. Die Probe LA0407 enthält Columbite.

## **LA05**

Anstehender, riesenkörniger Pegmatit mit viel Albit, Kalifeldspat und Spodumen. Die Probe LA0508 enthält Columbit.

## LA06

Ein ca. 0,5 Kubikmeter großes Pegmatitrollstück mit einem Einschluss von Nebengestein, um welches orientiert Turmalin gewachsen ist (Abbildung 15). Die Turmalinzone (LA0609) ist columbitfrei. Columbit tritt aber in der danebenliegenden spodumenführenden Zone (LA0610) auf.



Abbildung 15: Pegmatitrollstück mit Nebengesteinslinse und Turmalinsaum, Proben LA0609 und LA0610



**LA 02:** N 47°16,132'  
E 14°21,441'

N

Aufschlussneigung (080/70)

S

-  Qz + Kfs + Pl + > Mus (Ø bis 5cm) + < Turm
-  Qz + Kfs + Pl + Turm orientiert (Ø bis 1cm)
-  Qz + Kfs + Pl + > Spod (Ø bis 5cm) + Gra + < Turm
-  Nebengestein - Glimmerschiefer

Probenahmepunkte:

LA0203

LA0204

LA0205 - Col

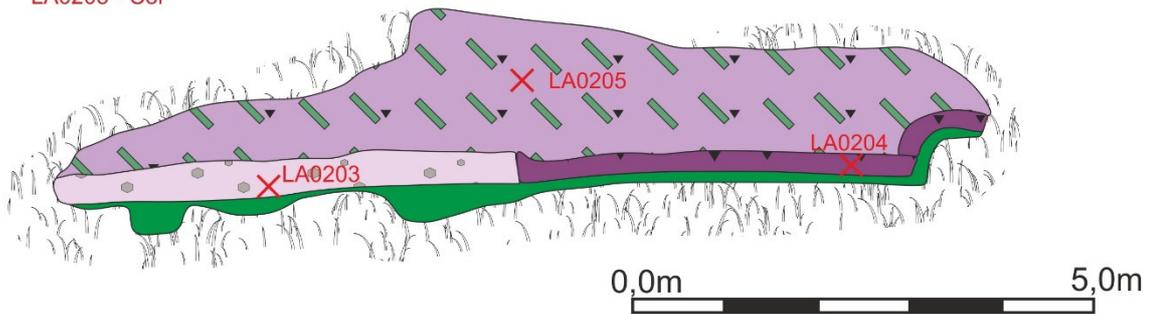


Abbildung 16: Aufschlussskizze und Foto von LA02.

## 5.4 Hohenwart

Es sind vier Pegmatite im Bereich des Hohenwart bearbeitet worden (Abbildung 17). HW01 ist neu aufgenommen und beprobt worden. Die Aufschlüsse HW02, HW03 und HW04 wurden bereits von *Senzenberger (2001)* aufgenommen und kartiert. Seine Aufschlusszeichnungen werden hier bearbeitet und übernommen. Alle untersuchten Pegmatite enthalten Nb-Ta-Minerale.

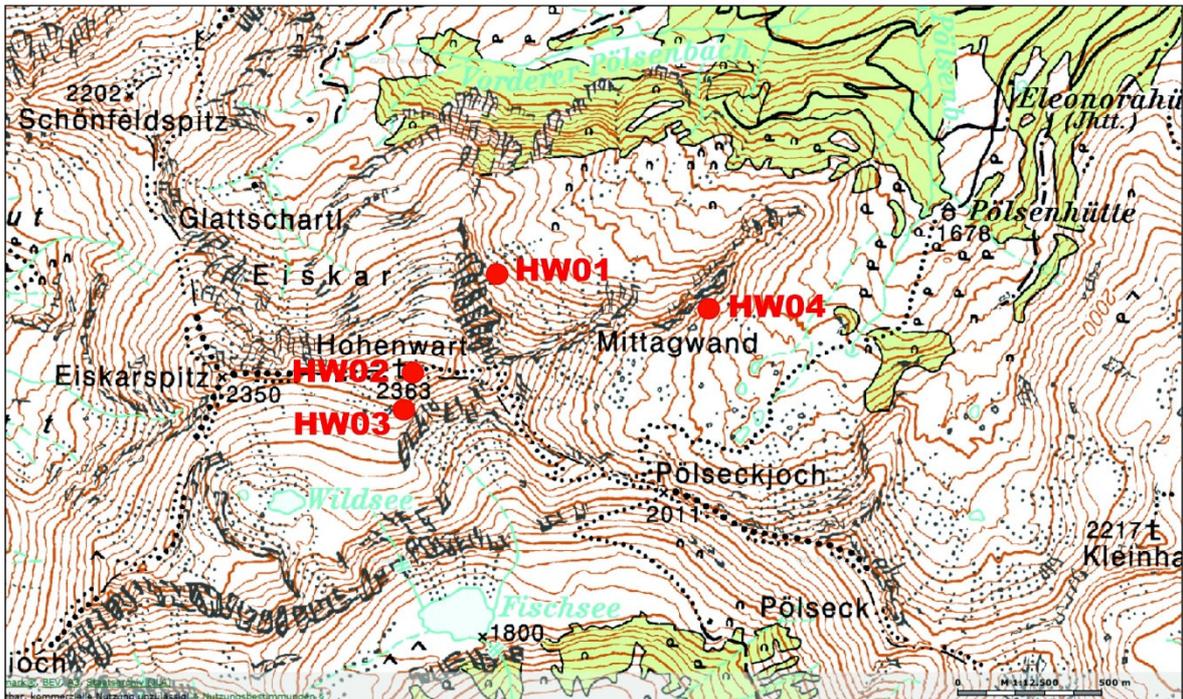


Abbildung 17: Lage der untersuchten Pegmatitaufschlüsse am Hohenwart. Quelle: GIS Steiermark

## HW01

Der Aufschlussbereich HW01 liegt in einer Schuttrinne in den Nordabfällen des Hohenwart (Abbildung 17). Die Mächtigkeit beträgt 1 m. Das Nebengestein ist ein Silikatmarmor. Aufgrund der höheren Verwitterungsbeständigkeit tritt der Pegmatit morphologisch aus dem Gelände hervor. Im Pegmatit kann man zwei Zonen unterscheiden. Die innere Zone besteht aus riesenkörnigem Kalifeldspat mit feinkörnigem Quarz und Spodumen. Die äußere Zone zeigt eine grobe Schieferung, welche parallel zur Schieferung des Nebengesteins ausgebildet ist. Sie besteht aus viel grob- bis riesenkörnigem Spodumen und viel Quarz. Untergeordnet treten fein- bis mittelkörnige Feldspäte auf (Abbildung 18).

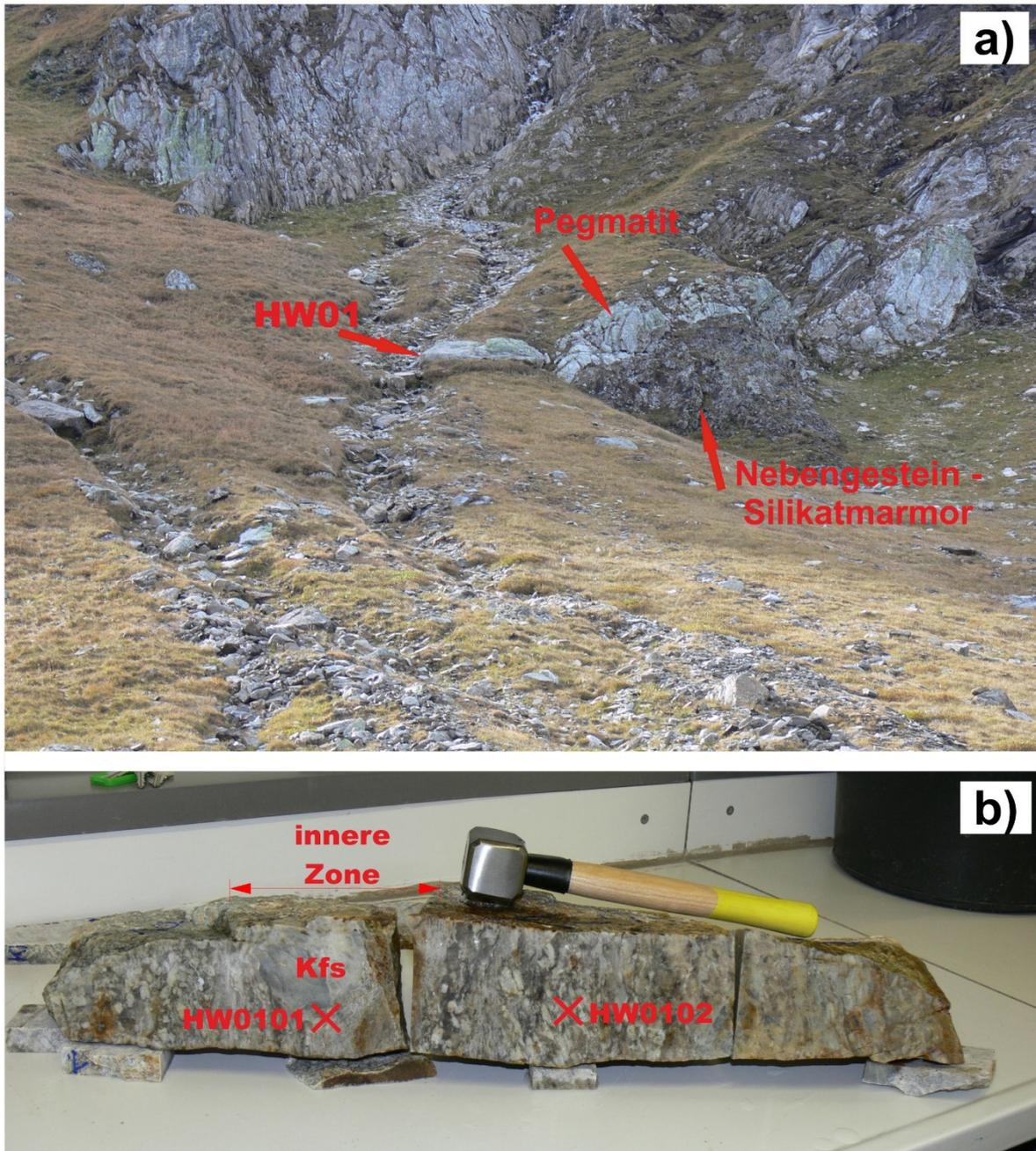


Abbildung 18: a) Aufschlussfoto von HW01 mit Probenahmepunkt  
b) Schnitt durch HW01. Linke Seite entspricht oben im Gelände.

## HW02

HW02 liegt direkt am Gipfel des Hohenwart (Abbildung 19). Bei *Senzenberger (2001)* ist dieser Pegmatit als Nr. 5 bezeichnet. Der Pegmatit ist, mit Unterbrechungen, über eine Länge von 30 m aufgeschlossen. Die maximale Mächtigkeit beträgt 1,8 m. Das Nebengestein ist ein Silikatmarmor. Nur der zentrale Pegmatitblock wurde beprobt. Es treten zwei hellgraue Quarzgänge mit ca. 10 cm Mächtigkeit auf. Drei der vier Zonen enthalten Spodumen, welcher fein- bis mittelkörnig ausgebildet ist. Die vierte Zone besteht aus Quarz, Plagioklas und untergeordnet Kalifeldspat.

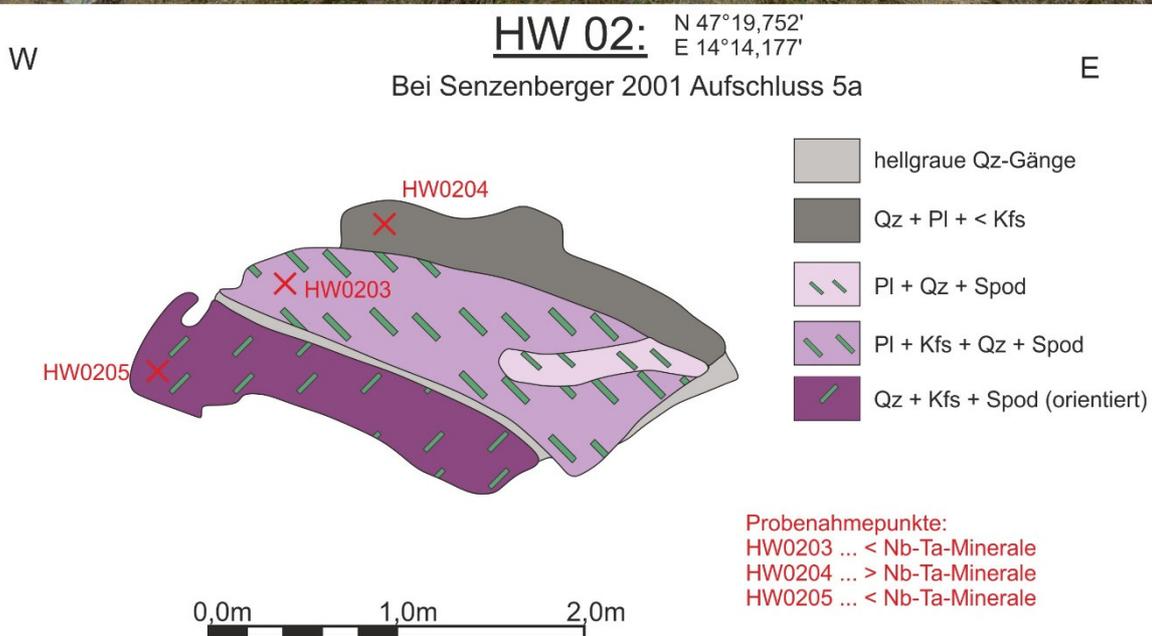


Abbildung 19: Aufschlusskizze und Foto von HW02 am Gipfel des Hohenwart.

## HW03

HW03 liegt ca. 50 m südlich vom Gipfel des Hohenwart. Es ist der mächtigste Pegmatit im Arbeitsgebiet mit einer maximalen Mächtigkeit von ca. 10 m. Er ist in der Südwand des Hohenwart als deutlich erkennbarer heller Gang über mehrere hundert Meter aufgeschlossen (Abbildung 20). *Senzenberger (2001)* bezeichnet diesen Pegmatitaufschluss als Nr. 4, Abschnitt 2. Generell sind die einzelnen Zonen parallel zur Schieferung des Nebengesteins (Glimmerschiefer) angeordnet. Drei der vier Zonen enthalten Spodumen, welcher mittel- bis grobkörnig ausgebildet ist. Zusätzlich findet sich fein- bis mittelkörniger Turmalin. Die mächtige Zone im Handenden wird von einer quarzreichen Zone mit einer Mächtigkeit bis zu 1 m durchschlagen. Die spodumenführende Zone im Liegenden zeigt senkrecht zu den Schieferungsflächen orientierte, riesenkörnige Kalifeldspäte. Die liegenste, spodumenfreie Zone enthält überwiegend mittelkörnigen Kalifeldspat.



**HW 03:** N 47°19,716'  
 E 14°14,167'  
 Bei Senzenberger 2001 Aufschluss 4, Abschnitt 2

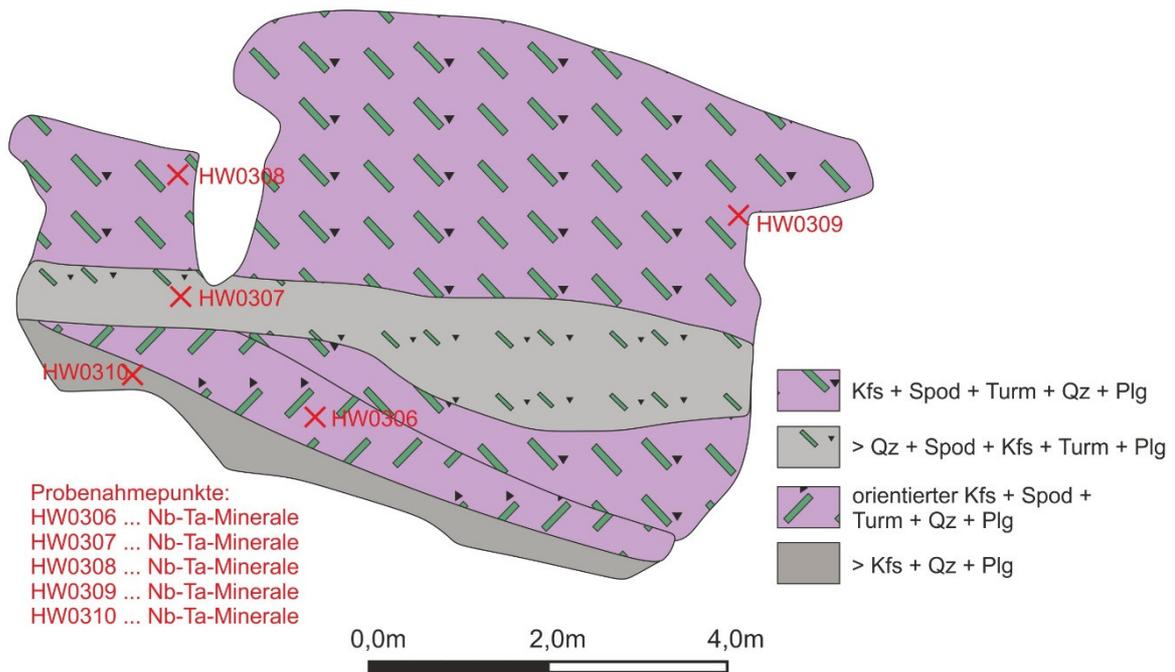


Abbildung 20: Aufschlussskizze HW03 und Überblicksfoto von der Südwand des Hohenwart.

## HW04

HW04 liegt im südlichen Teil der unteren Mittagswand. Der Pegmatit hat eine maximale Mächtigkeit von 3 m und ist über 50 m aufgeschlossen. Beprobet wurden die östlichsten 10 m. Das Nebengestein ist ein dunkelbraun bis schwarz verwitterter Biotitglimmerschiefer. Der Pegmatit ist sehr heterogen und die einzelnen Zonen sind *nicht* schieferungsparallel zum Nebengestein entwickelt. Es finden sich mehrere, über die ganze Länge des Pegmatits verlaufende, Quarzgänge. Spodumen kommt in drei der sieben Zonen vor. Alle Proben, bis auf den Quarzgang, enthalten weiters Nb-Ta-Minerale.



W **HW 04:** N 47°19,896' E 14°15,015' E  
Bei Senzenberger 2001 Aufschluss 1

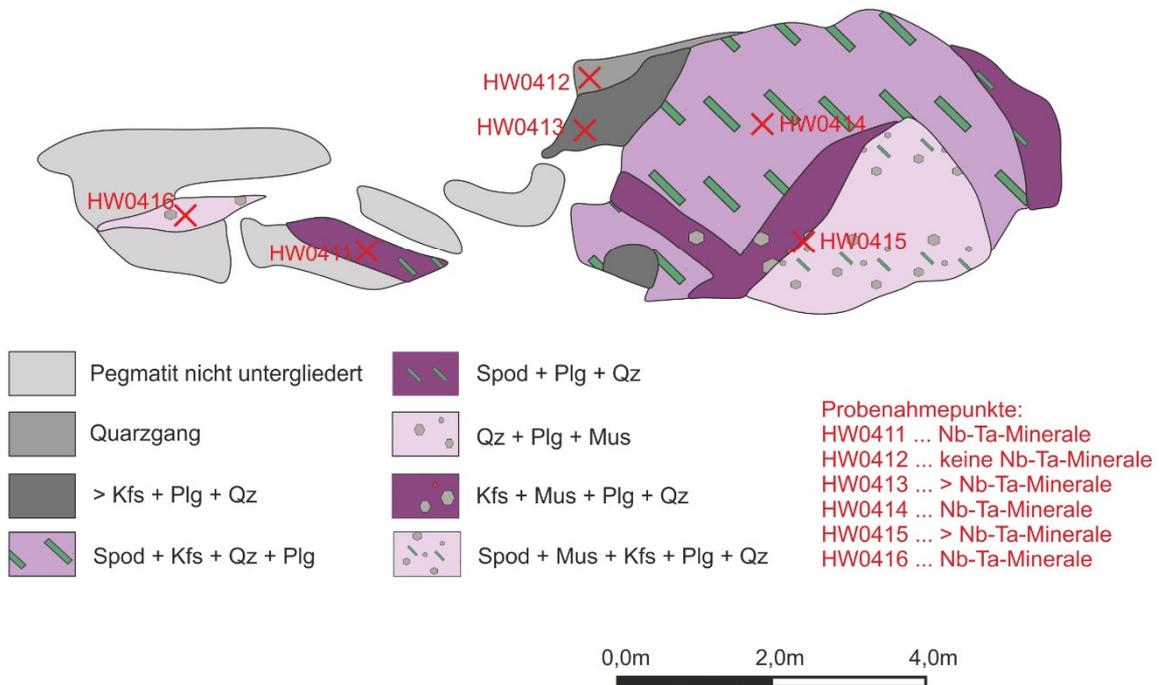


Abbildung 21: Aufschlusskizze HW04 und Überblicksfoto von der südlichen Mittagswand.

## 6 Mineralbeschreibungen und Bemerkungen zu den Gefügen

### 6.1 Quarz

Quarz tritt in allen Pegmatiten und in fast allen Zonen der Pegmatite als Hauptgemengeteil auf. Im Handstück variiert die Farbe von milchig-weiß bis dunkelgrau. Die Korngröße reicht von feinst- bis riesenkörnig. Beim Hohenwart treten auch Dezimeter mächtige Quarzgänge, die andere Zonen durchschlagen, auf. Interne monomineralische Zonen die nur aus Quarz bestehen, sogenannte Quarzkerne, wurden nicht beobachtet.

Mikroskopisch tritt der Quarz in Form von, von der alpidischen Metamorphose überprägten, polykristallinen Aggregaten mit undulöser Auslöschung auf. Häufig ist er als rekristallisierte Zwickelfüllung ausgebildet. Beim Pegmatit von Garrach finden sich in dem mylonitischen Gefüge feinstkörnige Zeilen aus rekristallisiertem Quarz, welche Spodumen- und Feldspatporphyroklasten umfließen. In den Pegmatiten vom Lachtal tritt Quarz häufig granophyrisch verwachsen mit den Feldspäten auf (Abbildung 22). Häufig ist auch das Auftreten von symplektitisch verwachsenem Quarz mit Spodumen (Abbildung 23).

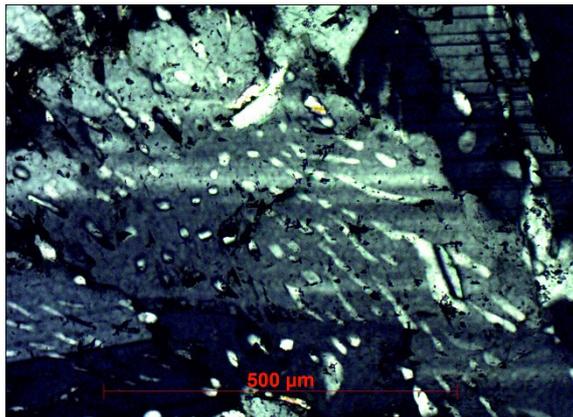


Abbildung 22: Granophyrische Verwachsungen von Quarz und Kalifeldspat (LA0203; Durchlicht # Polarisatoren)

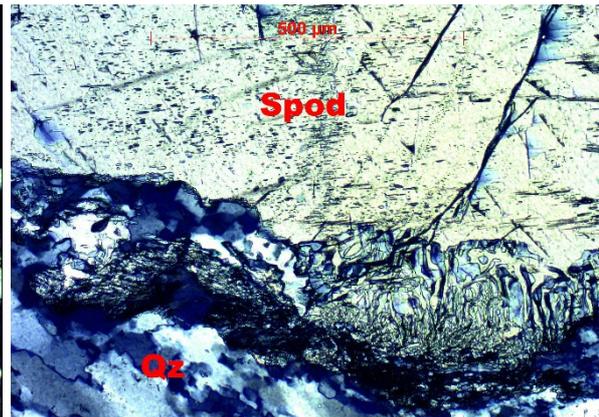


Abbildung 23: Symplektitische Verwachsungen von Spodumen und Quarz (GA0101; Durchlicht # Polarisatoren)

### 6.2 Plagioklas

Im Handstück bildet der Plagioklas in den meisten Zonen zusammen mit Quarz eine fein- bis mittelkörnige Grundmasse. Er ist generell rein-weiß und bildet hypidiomorphe Kristalle die an der guten Spaltbarkeit und dem fettigen Glanz erkennbar sind.

Mikroskopisch sind polysynthetische Verzwilligungen häufig zu beobachten. Generell tritt mehr Plagioklas als Kalifeldspat auf. Analysen mittels Mikrosonde zeigen, dass es sich bei den Plagioklasen um Albit, mit Albitgehalten  $> 94$  Mol%, handelt (Tabelle 8).

## 6.3 Kalifeldspat

Der Kalifeldspat ist makroskopisch hell- bis dunkelblaugrau gefärbt und tritt häufig als augenförmige Linsen auf. Er ist oft riesenkörnig ausgebildet und erreicht Durchmesser bis zu 20 cm (z.B. Mitterberg, MB04).

Im Dünnschliff zeigen sich häufig Mikroklingitterung (Abbildung 24) und perthitische Entmischungen (Abbildung 25 und Abbildung 26). Durch Serizitisierung ist der Kalifeldspat trüb. Einschlüsse von Quarz und Plagioklas kommen vor. Mikrosondenmessungen ergeben Albitgehalte in den Kalifeldspäten von 6 – 14 Mol% (Tabelle 8).

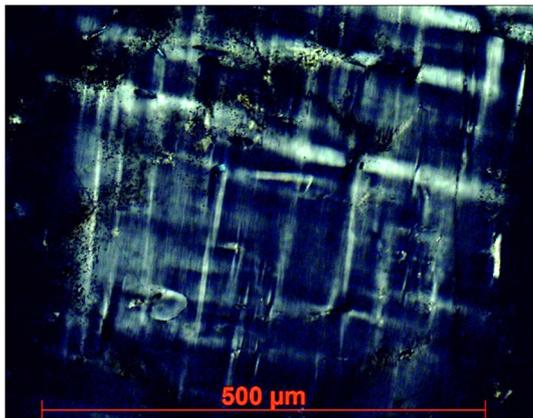


Abbildung 24: Mikroklingitterung im Kalifeldspat (MB0203; Durchlicht # Polarisatoren)

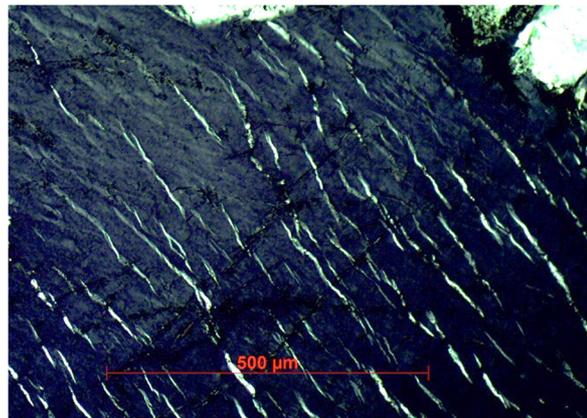


Abbildung 25: Mikroperthitische Entmischungen von Albit in Kalifeldspat (HW0101; Durchlicht # Polarisatoren)

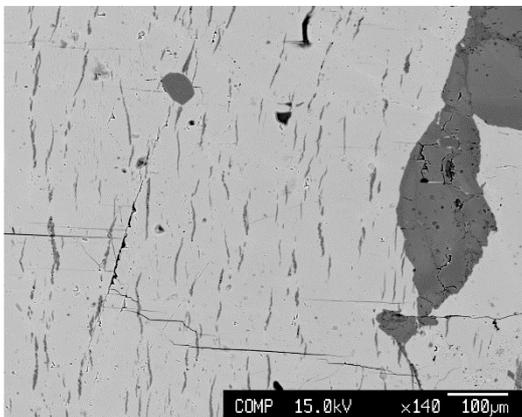


Abbildung 26: Mikroperthitische Entmischung von Albit in Kalifeldspat, BSE – Bild  
Hellgrau ... Kalifeldspat  
Dunkelgrau ... Albit

## 6.4 Spodumen

Makroskopisch haben die Spodumene einen seidigen Glanz, eine ausgezeichnete Spaltbarkeit und sie sind weiß bis leicht bräunlich grün gefärbt. Eine Unterscheidung zum Albit im Handstück ist mitunter schwierig. Unterscheidungsmerkmale sind ein stengelig Habitus im Gegensatz zum häufig zuckerkörnigen Albit, eine unterschiedliche Verwitterung

und die bräunlich-grüne Eigenfarbe. Die Korngröße variiert von feinst- bis riesenkörnigen Kristallen mit Durchmesser bis zu 5 cm. Die riesenkörnigen Kristalle sind idiomorph ausgeprägt und haben einen stengeligen Habitus.

Im Dünnschliff hat der Spodumen einen leicht bräunlichen Pleochroismus, die für Pyroxene typische Spaltbarkeit und hohe Interferenzfarben. Des Weiteren treten häufig myrmekitische Verwachsungen mit Quarz auf (Abbildung 27). Teilweise ist der Spodumen einfach verzwilligt (Abbildung 28). Riesenkörnige Spodumenkristalle sind häufig zerbrochen und von einer feinkörnigen Matrix aus Quarz und Feldspäten umgeben (Abbildung 29 und Abbildung 30).

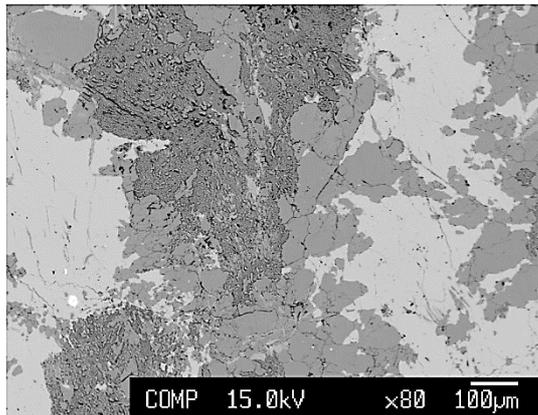


Abbildung 27: BSE-Bild. Myrmekitisch verwachsener Spodumen mit Quarz. Spodumen dunkelgrau, Quarz grau, Kalifeldspat hellgrau (MB0407).

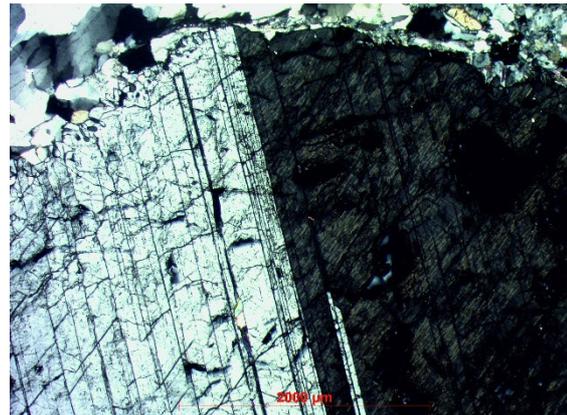


Abbildung 28: Einfach verzwilligter Spodumen mit deutlich erkennbarer Spaltbarkeit (HW0101; Durchlicht # Polarisatoren).

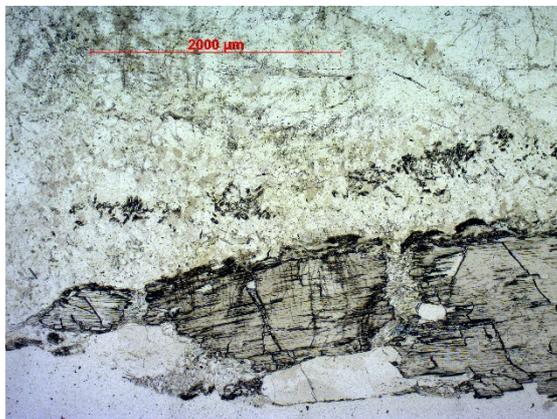


Abbildung 29: Zerbrochener Spodumenkristall unten umgeben von einer feinkörnigen rekristallisierten Matrix aus Quarz und Kalifeldspat (MB0407; Durchlicht II Polarisatoren).

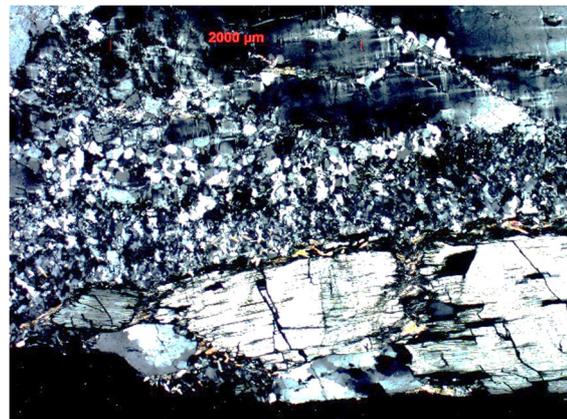


Abbildung 30: Wie Abbildung 29 aber bei gekreuzten Polarisatoren (MB0407; Durchlicht # Polarisatoren).

## 6.5 Turmalin

Makroskopisch sind die Turmaline dunkelblau bis schwarz gefärbt. Die Korngröße variiert von fein- bis riesenkörnig. In Kontaktzonen zum Nebengestein tritt Turmalin häufig als

Hauptgemengeteil auf. Kristalle mit Durchmessern bis zu 3 cm und Längen von über 10 cm sind keine Seltenheit. In diesen Kontaktzonen ist Turmalin häufig orientiert, senkrecht zur Kontaktfläche gewachsen (Abbildung 15). Er ist idiomorph und hat einen stengeligen Habitus.

Im Dünnschliff zeigen die Turmaline einen starken grünen bis dunkelblauen Pleochroismus und sie sind senkrecht zur c-Achse zoniert (Abbildung 31). *Ertl et al. (2009)* analysierte Turmaline aus Pegmatiten vom Hohenwart und von Mitterberg. Es handelte sich dabei um Li-führende Turmaline der Dravit-Schörl-Serie.

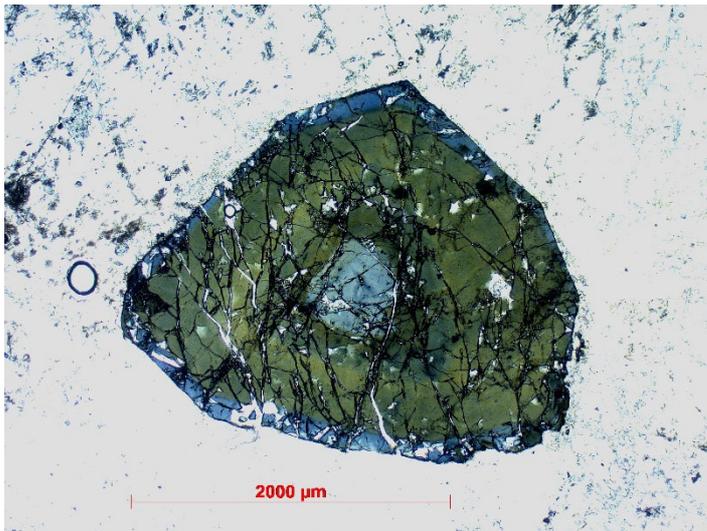


Abbildung 31: Zonierter Turmalin senkrecht zur c-Achse orientiert mit deutlicher Eigenfarbe. (LA0204; II Polarisatoren)

## 6.6 Muskovit

Als Glimmerminerale treten in den untersuchten Pegmatiten nur Muskovite und keine Biotite auf. Auffallend ist, dass in den untersuchten Pegmatiten vom Hohenwart nur in zwei Zonen, wenig Muskovit enthalten ist. Makroskopisch variiert die Korngröße von fein- bis riesenkörnig. In manchen Zonen bildet der Muskovit ein Hauptgemengeteil. Die größten Muskovitpakete finden sich am Mitterberg mit Durchmessern bis zu 10 cm und einer Dicke von bis zu 8 cm.

Im Dünnschliff tritt der Muskovit als feinkörnige Zwickelfüllung oder als hypidiomorphe Kristalle auf. Je nach Grad der tektonischen Deformation sind diese Muskovitkristalle mehr oder weniger deutlich eingeregelt. Muskovit ist aufgrund seiner hohen Interferenzfarbe und der sehr guten Spaltbarkeit einfach zu erkennen.

## 6.7 Granat

Granat tritt immer wieder als Nebengemengeteil in einzelnen Zonen auf. Im Handstück variiert die Korngröße von fein- bis mittelkörnig (Durchmesser bis 8 mm) und die Farbe von hell- bis dunkelrot.

Im Dünnschliff sind die Granate immer zerbrochen. Mineraleinschlüsse von Quarz und Plagioklas kommen vor. Messungen mittels EDS an der Mikrosonde zeigen Mn- und Fe-reiche sowie Ca- und Fe-reiche Granate.

## 6.8 Akzessorien und Schwerminerale (Nb-Ta-Minerale)

Die häufigsten Akzessorien in den Pegmatiten sind Apatit und Zirkon (Abbildung 32). In beiden Mineralen finden sich viele winzige Einschlüsse. Auffallend sind Einschlüsse von Uraninit in Zirkon (Abbildung 33). Die Korngröße von Zirkon und Apatit variiert von wenigen 10µm bis zu 300µm. Weitere Akzessorien sind Kassiterit, Magnetit, Ilmenit, Titanit und sphäroidaler Grafit. Selten findet sich Monazit, Xenotim und wie gesagt Uraninit. Die Korngröße dieser Minerale ist meist kleiner 100 µm.

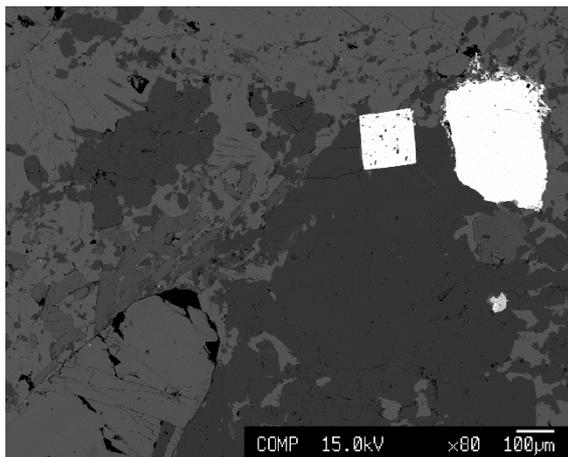


Abbildung 32: BSE-Bild von MB0407. Links unten Turmalin. Das helle viereckige Korn ist Zirkon, rechts davon Apatit.

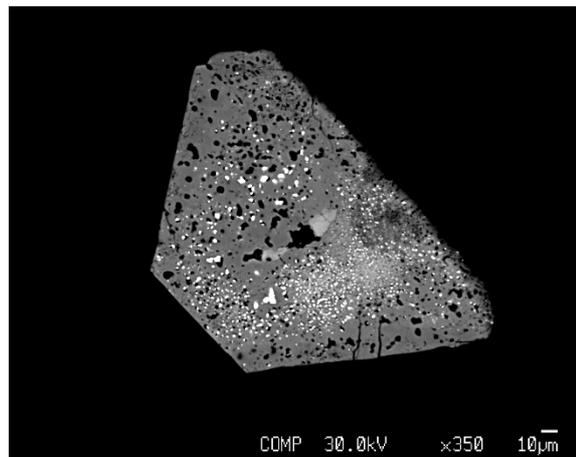


Abbildung 33: BSE-Bild von Zirkon aus dem Schwermineralkonzentrat GA0103. Helle Einschlüsse im Zirkon sind Uraninit.

Es finden sich unterschiedliche Nb-Ta-führende Minerale. Bei den Proben vom Mitterberg finden sich fast ausschließlich Columbite. Bei den weiteren drei Lokalitäten, insbesondere am Hohenwart, finden sich zusätzlich Nb-Ta-Phasen mit wechselnden Gehalten von Ca, Ti, U und REE, die nicht im Detail bestimmt wurden. Vereinzelt lassen sich Nb-Ta-Minerale auch im polierten Schliff unter Auflicht beobachten. Der Habitus ist oft prismatisch bis stengelig, aber auch rundlich. Verwachsen sind die Kristalle im Quarz, im Muskovit und an Kontaktflächen von Quarz und Spodumen (Abbildung 34). Die Korngröße variiert erheblich, von wenigen µm bis zu 1.000 µm bei dem größten gefundenen Columbit aus dem Schwermineralkonzentrat von HW0309 (Abbildung 35).

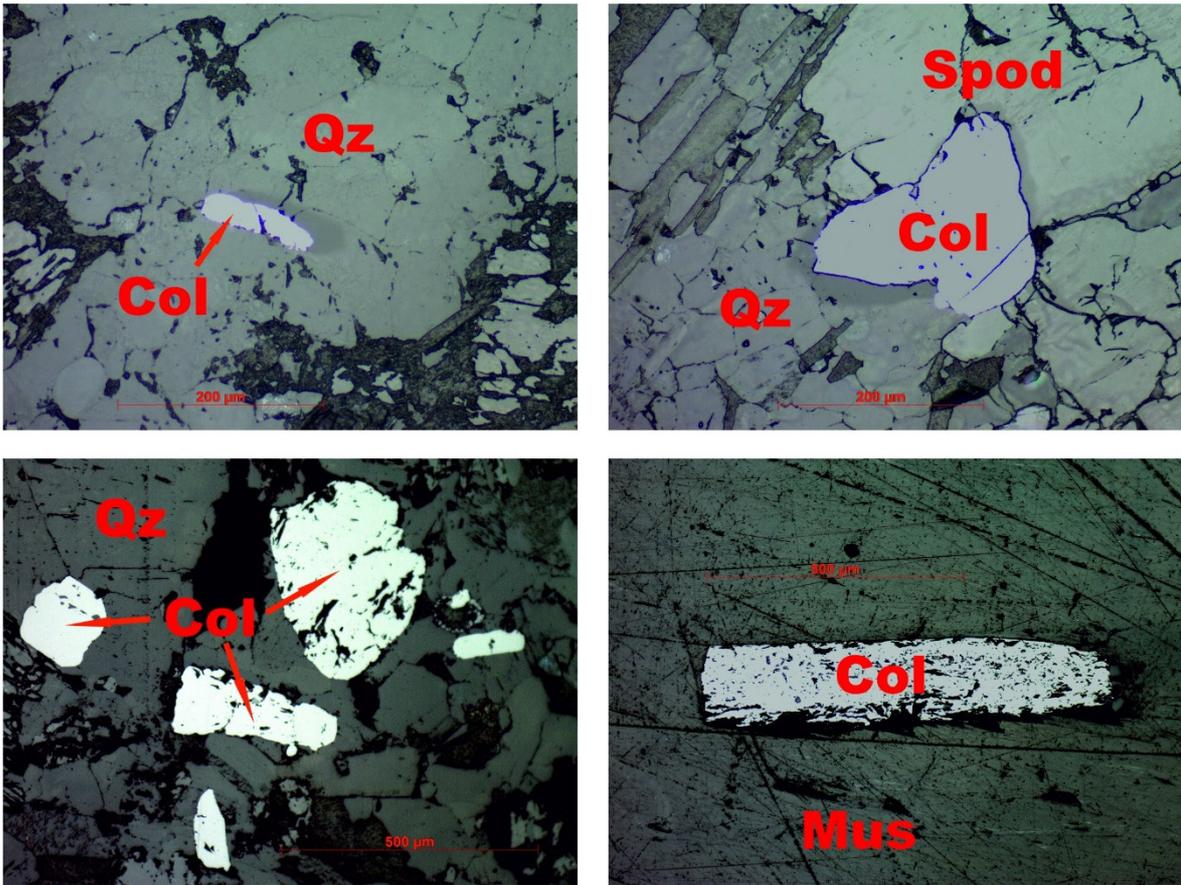


Abbildung 34: Columbite im polierten Dünnschliff unter Auflicht mit II Polarisatoren.

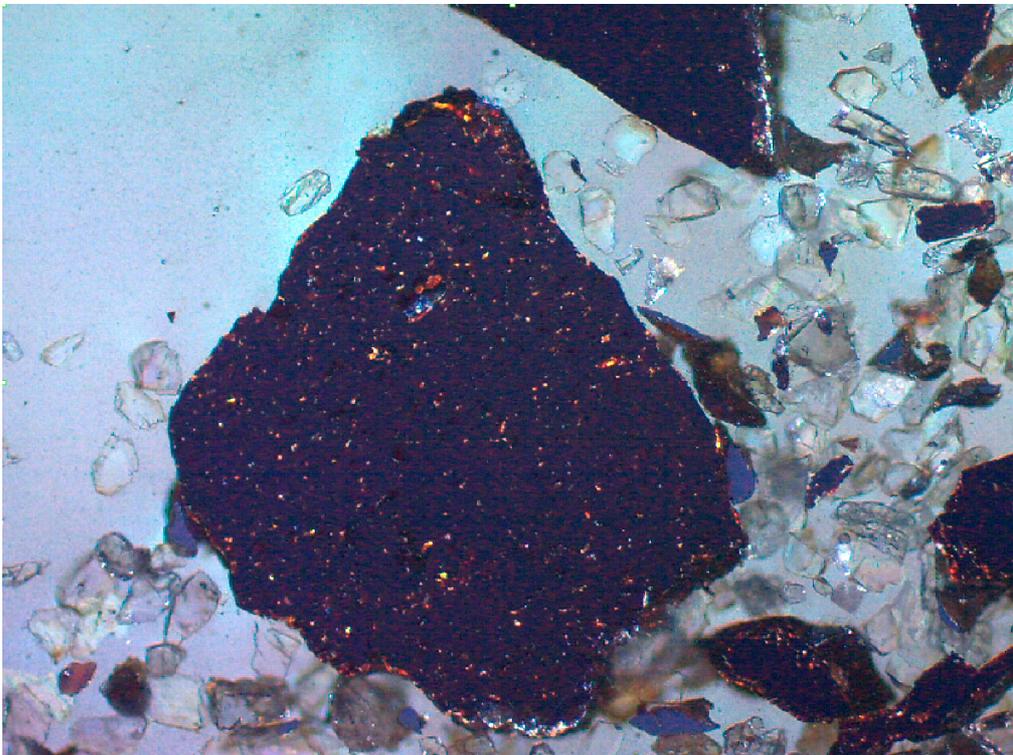


Abbildung 35: Columbite aus dem Schwerminerkonzentrat HW0309 mit den typischen roten Innenreflexen (Auflichtmikroskopie mit # Polarisatoren; Bildbreite 2 mm).

## 7 Ergebnisse und Auswertung

### 7.1 Aufbereitungsversuche (Anreicherung Nb-Ta-Minerale)

Ziel des ersten Versuches war, die Effektivität der Waschpfanne für die Anreicherung von Nb-Ta-Mineralen zu prüfen. Es wurden zwei Proben aus Mitterberg mittels EPD zerkleinert und das Material mittels Waschpfanne auf weniger als 1 g konzentriert. Von diesem Material wurden Anschliffe hergestellt und mittels Auflichtmikroskopie die Nb-Ta-Minerale (Columbite) ausgezählt. Das abgetrennte leichtere Material wurde aufgefangen, getrocknet und einer Schwereretrennung mittels Natriumpolywolframat (NAPW) unterzogen. Von der Schwererfraktion wurde ebenfalls ein Anschliff hergestellt. Es wird davon ausgegangen, dass man mittels der nachträglichen NAPW-Trennung sämtliche Nb-Ta-Minerale, die beim Waschen mit der Waschpfanne verloren gingen, gewinnt.

Die Ergebnisse in Tabelle 4 zeigen, dass mittels Waschpfanne bei beiden Proben über 80 % der Columbite gewonnen werden konnten.

Probe	Probemenge [kg]	EPD + Waschpfanne [Col]	NAPW mit dem Restmaterial aus der Waschpfanne [Col]	Ausbringungsgrad für Col [%]
MB0611	0,9	72	6	92
MB0203	1,1	99	18	82

Tabelle 4: Ergebnisse des ersten Aufbereitungsversuchs. (Col ... Columbitkörner im Anschliff)

Beim zweiten Versuch wurden unterschiedlichen Aufbereitungsmethoden zur Separation der Schwerminerale verglichen (Tabelle 5). Die Probe vom Mitterberg ist aus derselben Zone wie bei Tabelle 4, die zweite Probe stammt aus dem Lachtal. Die Proben wurden mit dem Backenbrecher auf kleiner 1 mm zerkleinert, danach wurde das Material mit der Waschpfanne auf ca. 50 g vorkonzentriert. Dieses wurde mittels NAPW weiter konzentriert auf ca. 10 - 20 g. Danach wurde das Material gedrittelt. Aus einem Drittel wurde direkt ein Anschliff hergestellt, das zweite Drittel wurde mittels Waschpfanne weiter, auf kleiner 1 g, konzentriert. Das dritte Drittel wurde mit dem Frantz-Magnetscheider aufbereitet.

Probe	Probenmenge [kg]	Backenbrecher + Waschpfanne (50g) + NAPW (20-10g)					
		1/3	1/3	1/3			
		Ohne weitere Aufbereitung	Weitere Konzentration der Schwerminerale mit Waschpfanne	Frantz-Magnetscheider [A ... Ampere]			
				< 0,10A	0,10-0,25A	0,25-0,50A	> 0,50A
[Col im Anschliff]							
MB0611	1,3	6	49	32			k.A.
LA0205	1,4	2	21	3	17	3	k.A.

Tabelle 5: Ergebnisse des zweiten Aufbereitungsversuchs. (Col ... Columbitkörner im Anschliff)

Die Ergebnisse in Tabelle 5 zeigen die höchsten Ausbringungen bei Waschpfanne und Frantz-Magnetscheider. Beim direkten Anschliff wurden die wenigsten Columbite gefunden. Grundsätzlich sollten alle drei Drittel dieselbe Anzahl von Columbiten enthalten.

Beim Anschliff, welcher nicht weiter aufbereitet wurde, wurden weniger Columbite gefunden, weil zu viel Material (ca. 5 g) für einen Anschliff vorhanden war. Bei mehr als ca. 1 g Material pro Anschliff ist dieser nicht mehr nur bodenbedeckt. Dadurch finden sich nicht alle Columbite in der angeschliffenen Fläche. Grund für das Zuviel an Material ist, dass die Dichte von 2,95 g/cm<sup>3</sup> zu gering ist, um die häufig auftretenden Begleitminerale Spodumen ( $\rho = 3,03 - 3,23 \text{ g/cm}^3$ ), Turmalin ( $\rho = 2,82 - 3,32 \text{ g/cm}^3$ ) und Granat ( $\rho = 3,50 - 4,30 \text{ g/cm}^3$ ) abzutrennen. Die Dichten der Nb-Ta-Minerale reichen von 4,5 g/cm<sup>3</sup> bei Pyrochlor bis > 8,0 g/cm<sup>3</sup> bei Tantalit.

Beim Frantz-Magnetscheider wurde der Spodumen in der unmagnetischen Fraktion (größer 0,50 Ampere) abgetrennt. Die restlichen Fraktionen bestehen aus den Schwermineralen mit den Columbiten, Turmalin und Granat. Die Amperestärke bei denen sich diese Minerale voneinander trennen lassen, hängt von deren Zusammensetzung, im speziellen vom Eisengehalt, ab. Die Probe LA0205 zeigt eine Anreicherung der Columbite bei einer Stromstärke zwischen 0,10 und 0,25 A.

Die Ergebnisse der Aufbereitungsversuche wurden auch in *Ahrer & Raith (2014)* veröffentlicht.

## 7.2 Mineral Liberation Analysis (MLA)

Die Ergebnisse der in Hannover an der BGR durchgeführten MLA sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Es wurden Analysen an insgesamt 30 Anschliffen mit Nb-Ta-Mineralen durchgeführt. Die Ergebnisse sind die Flächenprozentage der jeweiligen Mineralphase zur Gesamtfläche der angeschliffenen Körner pro Anschliff.

Die Mineralzusammensetzung der einzelnen Anschliffe unterscheidet sich zum Teil stark voneinander. Generell finden sich als Hauptminerale Quarz, Feldspäte (mehr Albit als Kalifeldspat), Spodumen, Granat (Almandin und Spessartin) und Turmalin in der Fe-reichen Schörlvarietät. Muskovit ist als Nebengemengteil erhalten, wurde jedoch aufgrund seiner Blättchenform während der Aufbereitung mittels Waschpfanne abgereichert. Dagegen wurden die Minerale mit höherer Dichte, im speziellen Granat, angereichert. Weitere häufige Nebenminerale sind Apatit, Zirkon, Kassiterit, Monazit, Pyrit und Titanit.

Es wurden 16 unterschiedliche Nb-Ta-Mineralen identifiziert. Diese werden wegen der besseren Übersichtlichkeit in zwei Gruppen untergliedert. In der ersten Gruppe sind die Minerale der Columbit-Tantalitgruppe mit den Mineralen Mn- und Fe-Columbit und Mn- und Fe-Tantalit. Die zweite Gruppe wird als „andere Nb-Ta-Mineralen“ zusammengefasst und beinhaltet die Minerale Tapiolit, Wodginit, Euxenit sowie Minerale der Pyrochlor-Supergruppe (*Atencio et al. 2010*).

In Abbildung 36 ist die Häufigkeit (Flächen %) der Nb-Ta-Mineralen in einem Balkendiagramm dargestellt. Die höchsten Gehalte an Nb-Ta-Mineralen finden sich in den Anschliffen vom Lachtal und vom Hohenwart mit bis zu 16% an Nb-Ta-Mineralen in Probe HW0309, welche auch das größte gefundene Columbitkorn (Abbildung 35) enthält. Die Proben von Garrach sind sehr gering, wenige Körner pro Anschliff, vererzt. Generell überwiegen die Minerale der Columbit-Tantalitgruppe (blau) gegenüber den „anderen Nb-Ta-Mineralen“ (rot). Bei den Aufschlüssen HW01 und HW02 vom Hohenwart zeigt sich ein gegenläufiger Trend. Hier überwiegen die „anderen Nb-Ta-Mineralen“ (Diskussion siehe Kapitel 7.2.4 Hohenwart).

Die gesamten Bilder mit Legenden der MLA finden sich im Anhang digital auf DVD. Beispielhaft werden die Proben HW0309 und HW0203 in Abbildung 37 und Abbildung 38 dargestellt.



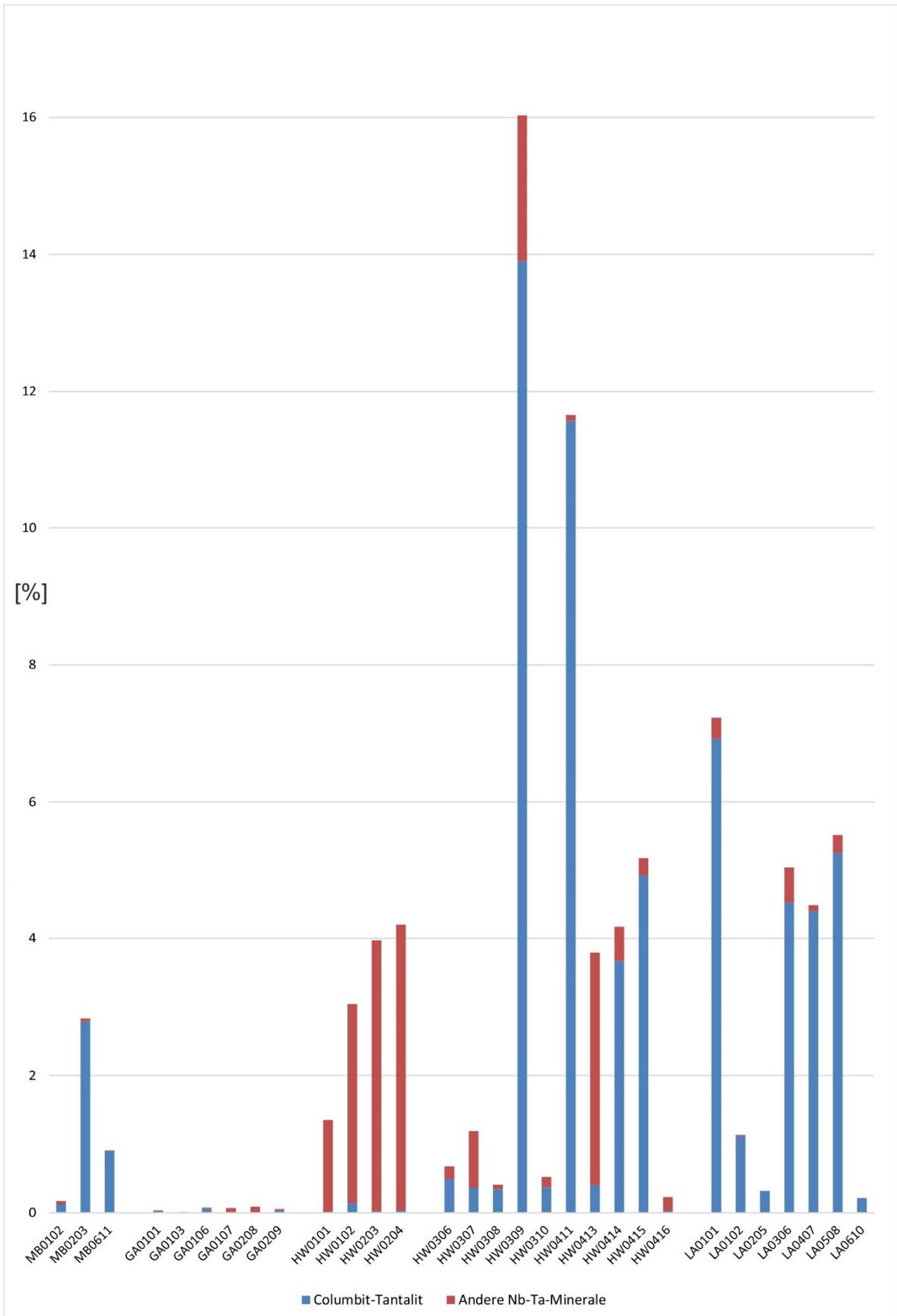


Abbildung 36: Anteil an Nb-Ta-Mineralen in den untersuchten Anschliffen. Angaben in Flächenprozent.

Modal Mineralogy - HW-0309 XBSE				
Name	Pixels	Particles	Area %	
Albite	18093835	7752	31.15 %	
Almandine-Spess...	14420053	4371	24.83 %	
Mn-Columbite	7414043	1194	12.77 %	
Spojunene	4947287	2919	8.52 %	
Fe-Mn-oxide	2885086	2162	4.97 %	
Orthoclase	1980102	1848	3.41 %	
Monazite	1198840	322	2.06 %	
Unknown	998189	1507	1.72 %	
Schoerl	971391	447	1.67 %	
Zircon	933184	323	1.61 %	
Quarz	854773	1192	1.47 %	
Pyrochlore	584437	436	1.01 %	
Muscovite	561547	834	0.97 %	
Fe-Columbite	479354	268	0.83 %	
Apatite	350995	250	0.60 %	
Epidote	188395	140	0.32 %	
Mn-Tantalite	181761	100	0.31 %	
U-Ti-Ta-Nb-Y-ox	152535	100	0.26 %	
Y-Ti-Nb-Ta-ox	132649	54	0.23 %	
Fergusonite	130482	70	0.22 %	
U-Ti-Nb-Ta-Y-ox	113256	74	0.20 %	
U-Microlite	87774	69	0.15 %	
Cassiterite	84580	17	0.15 %	
U-Pyrochlore	74555	29	0.13 %	
Xenotime	61110	41	0.11 %	
Microlite	46415	102	0.08 %	
Low_Counts	39960	27	0.07 %	
Hornblende	37409	67	0.06 %	
Goesite	25613	165	0.04 %	
Biotite	17727	163	0.03 %	
Uraninite	6890	37	0.01 %	
Corundum	4757	4	0.01 %	

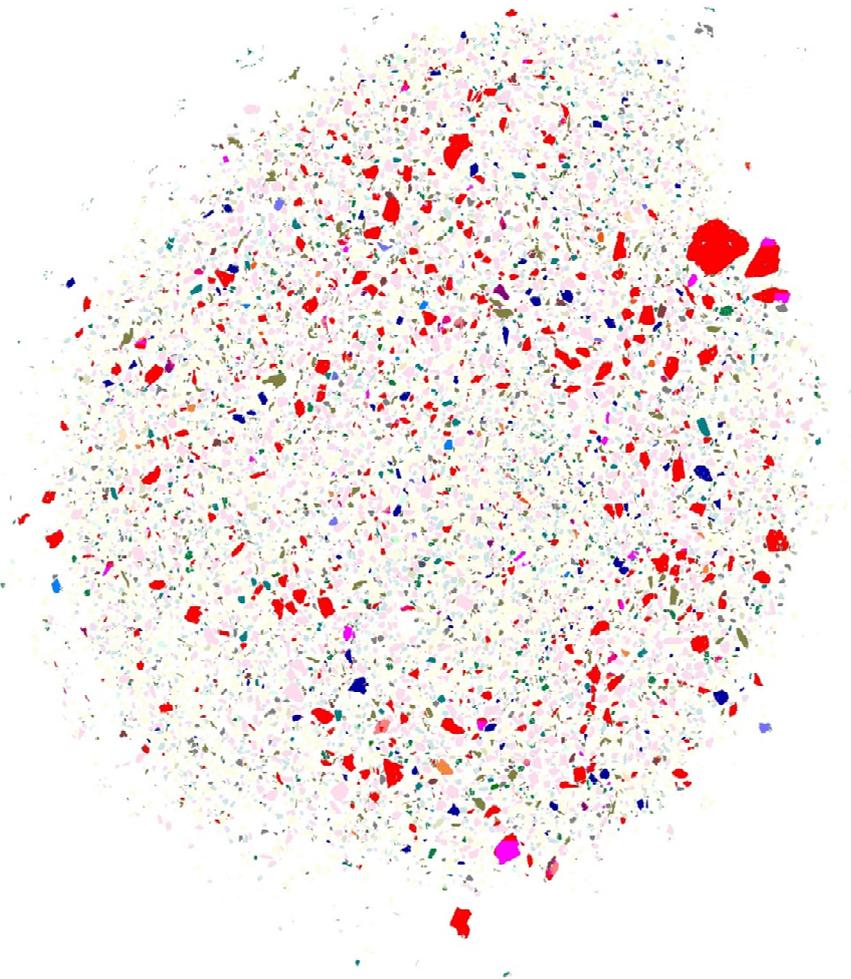


Abbildung 37: MLA-Auswertung von HW0309. Falschfarbendarstellung der identifizierten Partikel. Die Liste zeigt die gefundenen Mineralphasen und ihre berechnete prozentuelle Verteilung.

Modal Mineralogy - HW0203 XBSF			
Name	Pixels	Particles	Area %
Almandine-Spess...	52121634	4031	46.10 %
Spodumene	33468425	3560	29.60 %
Fe-Mn-oxide	8112812	2373	7.18 %
Albite	4834782	1018	4.28 %
Quarz	3388218	1622	3.00 %
Pyrochlore	3049658	491	2.70 %
Orthoclase	1375294	622	1.22 %
Apatite	1309225	102	1.16 %
Epidote	987829	256	0.87 %
Unknown	871477	1416	0.77 %
Zircon	575438	219	0.51 %
Low_Counts	431201	279	0.38 %
U-Pyrochlore	350169	236	0.35 %
Microlite	343659	383	0.30 %
Schoerl	332138	222	0.29 %
U-Ti-Ta-Nb-Y-ox	198824	77	0.18 %
Euxenite-Y	185265	63	0.16 %
titanite	181308	117	0.16 %
Muscovite	180578	171	0.16 %
U-Ti-Nb-Ta-Y-ox	162092	58	0.14 %
Biotite	157963	224	0.14 %
Goethite	144655	253	0.13 %
Fergusonite	130522	49	0.12 %
Scheelite	48706	10	0.04 %
Mn-Columbite	23240	5	0.02 %
Beryl	12108	74	0.01 %
Uraninite	7801	27	0.01 %
Yavapaiite	7438	7	0.01 %

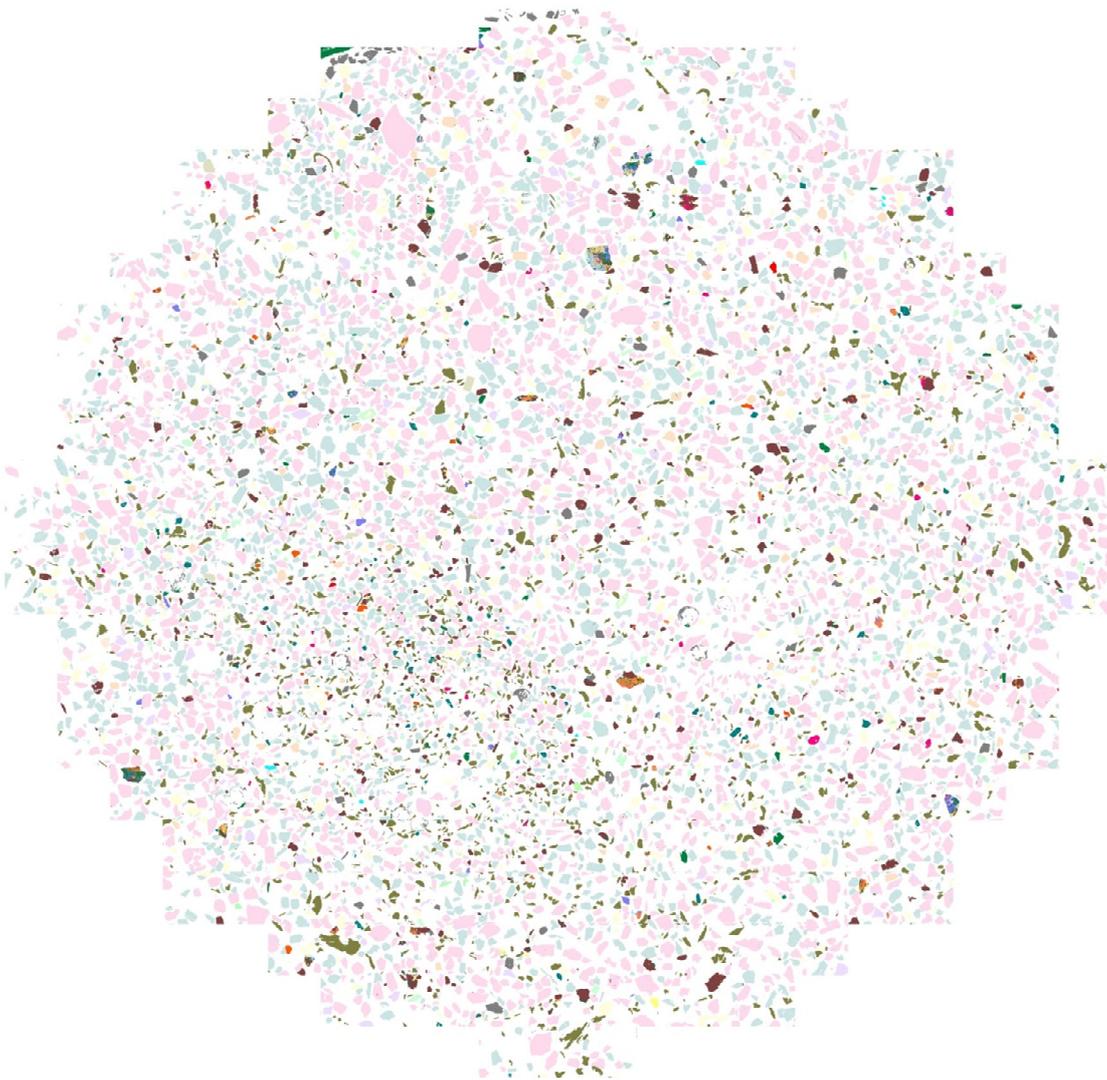


Abbildung 38: MLA-Auswertung von HW0203. Falschfarbendarstellung der identifizierten Partikel. Die Liste zeigt die gefundenen Mineralphasen und ihre berechnete prozentuelle Verteilung.

## 7.2.1 Mitterberg

Es wurden die Proben MB0102, MB0203 und MB0611 analysiert. Die Quarzgehalte liegen zwischen 20 und 32%. Bei den Feldspäten überwiegt Albit mit 23 - 28% gegenüber Orthoklas mit 4 - 20%. Die Gehalte von Granat liegen zwischen 5 und 19%. Die Probe MB0611 ist mit 28% stark an Spodumen angereichert und enthält keinen Turmalin. Die beiden anderen Proben enthalten 4 bzw. 17% Turmalin, aber keinen bzw. nur sehr wenig Spodumen.

Die Gehalte an Nb-Ta-Mineralen liegen zwischen 0,16% bei MB0102 und 2,83% bei MB0203. Bei MB0102 wurden im Anschliff 6 Körner gezählt und bei MB0203 sind es ca. 100. Die Probe MB0611 enthält 0,91% Nb-Ta-Mineralen bei 72 Körnern im Anschliff.

In den beiden Kreisdiagrammen in Abbildung 39 sieht man die Verteilung der Mittelwerte der Nb-Ta-Mineralen aller drei Zonen. Mehr als 97% sind Minerale der Columbit-Tantalitgruppe. Bei den anderen Nb-Ta-Mineralen überwiegen mit  $\frac{3}{4}$  die Minerale der Mikrolithgruppe.

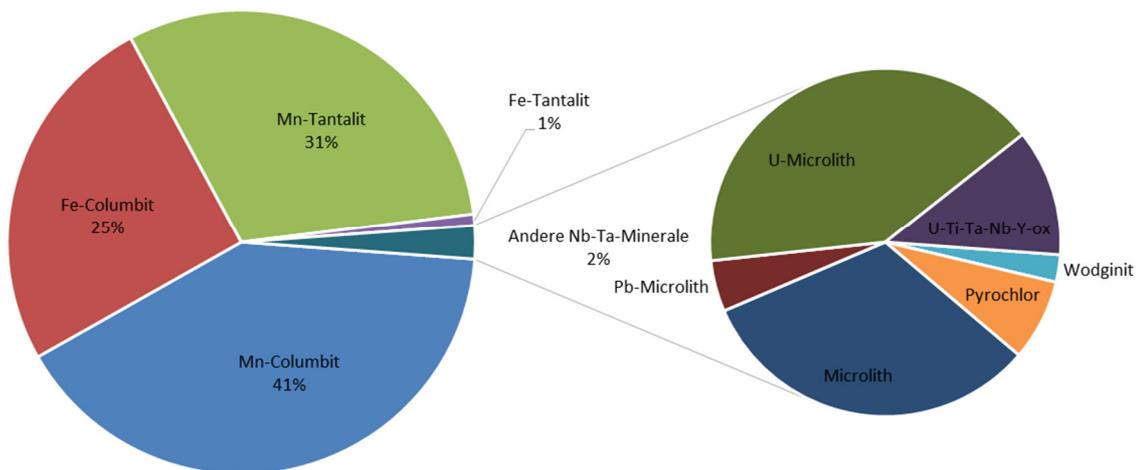


Abbildung 39: Kreisdiagramme zur Verteilung der Nb-Ta-Mineralen aus den Proben von Mitterberg.

## 7.2.2 Garrach

Vom Pegmatit in Garrach wurden sechs Proben analysiert (GA0101, GA0103, GA0106, GA0207, GA0208, GA0209). Die Quarzgehalte liegen zwischen 8 und 30%. Bei den Feldspäten überwiegt Albit mit 11 – 61% deutlich gegenüber Orthoklas mit 0,2 – 11%. Die Proben GA0107 und GA0208 enthalten mit 48 und 61% ausschließlich Albit, nur die Probe GA0106 hat mit je ca. 11% ein ausgeglichenes Verhältnis der Feldspäte. Die Gehalte an Spodumen streuen sehr stark zwischen 1 und 54%. Die Gehalte an Granat variieren ähnlich stark zwischen 0,4 und 25%. Der Pegmatit von Garrach enthält keinen Turmalin. GA0208 und GA0209 haben mit 3,2 und 9,3% auffallend hohe Apatitgehalte.

Die Gehalte an Nb-Ta-Mineralen in allen Proben sind gering. Sie liegen zwischen 0,01 und 0,09%. Das entspricht 1 – 3 Körnern pro Anschliff. Eine Verunreinigung durch Nb-Ta-Mineralen aus anderen Proben kann nicht ausgeschlossen werden, ist aber aufgrund der Reihenfolge der Aufbereitung nicht wahrscheinlich. Bei den Nb-Ta-Mineralen handelt es sich zur Hälfte um Columbite-Tantalite und zur anderen Hälfte hauptsächlich um Minerale der Mikrolithgruppe (Abbildung 40).

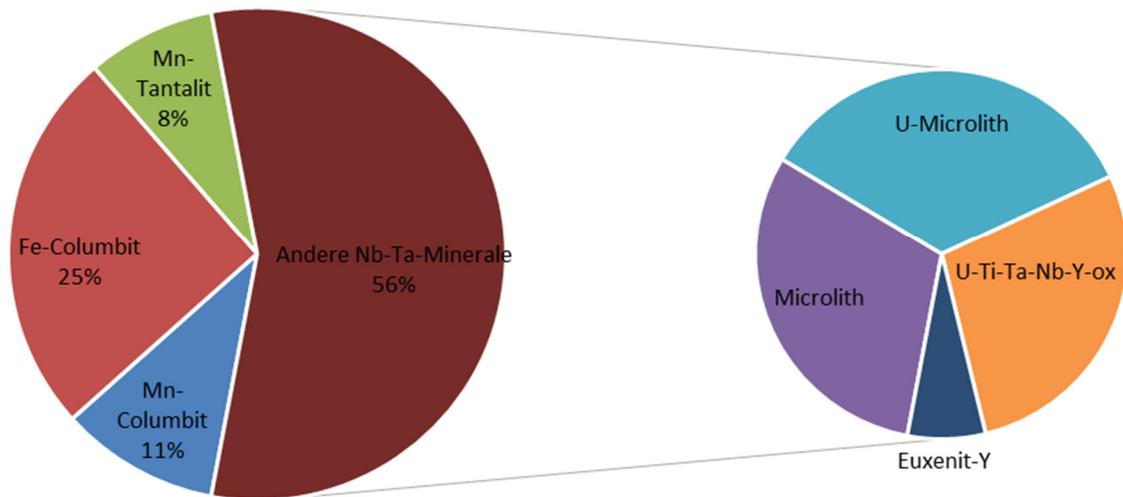


Abbildung 40: Kreisdiagramme zur Verteilung der Nb-Ta-Mineralen aus den Proben von Garrach.

### 7.2.3 Lachtal

Von der Lokalität Lachtal wurden sieben Proben analysiert: LA0101, LA0102, LA0205, LA0306, LA0407, LA0508 und LA0610. Die Gehalte von Quarz liegen zwischen 0,3 und 27,3%. Bei den Feldspäten überwiegt Albit mit Gehalten zwischen 1,1 und 16,8% deutlich gegenüber Orthoklas. Alle Proben sind reich an Granat. Die Gehalte liegen zwischen 22 und 56%. Bis auf LA0610 mit 0,5% Spodumen sind alle Proben mit 11,3 – 50,3% spodumenreich. Die Probe LA0205 hat mit 8,8% den höchsten Gehalt an Turmalin. Die Gehalte der anderen Proben liegen bei etwa 1%. Die Probe LA0306 hat mit 4,2% den höchsten Gehalt an Kassiterit.

Die Gehalte an Nb-Ta-Mineralen liegen zwischen 0,2% bei LA0610 und 7,2% bei LA0101. Die Durchschnittswerte aller Proben sind in Abbildung 41 dargestellt. Die Minerale der Columbit-Tantalitgruppe machen über 95% der Nb-Ta-Mineralen aus. Bei den restlichen 5%, der anderen Nb-Ta-Mineralen, überwiegen mit über 50% die Minerale der Mikrolithgruppe, ca. 30% sind Pyrochlore.

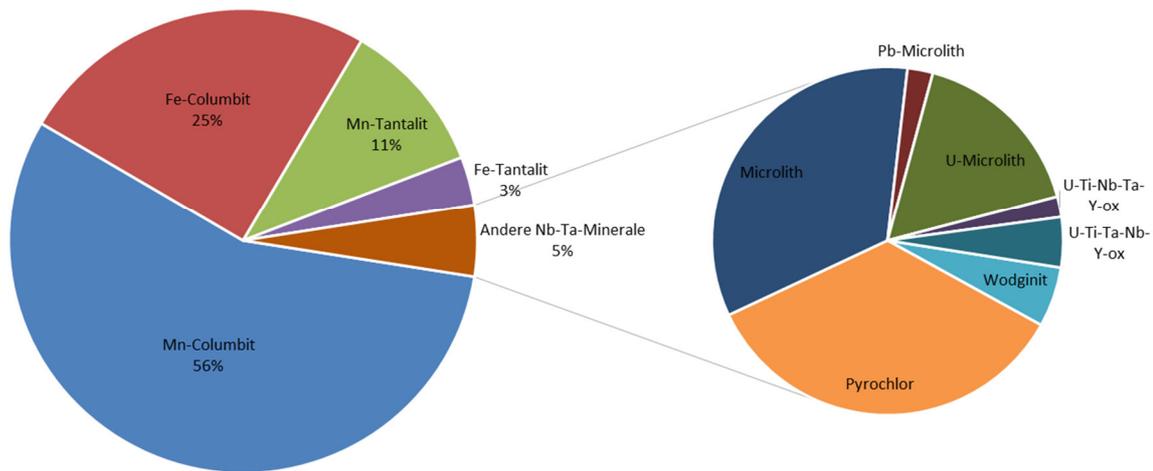


Abbildung 41: Kreisdiagramme zur Verteilung der Nb-Ta-Mineralen aus den Proben vom Lachtal.

## 7.2.4 Hohenwart

Die Proben vom Hohenwart werden aufgrund der in Abbildung 36 ersichtlichen unterschiedlichen Verteilung der Nb-Ta-Mineralen in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe besteht aus den Probengruppen von HW01 und HW02. Die zweite Gruppe beinhaltet die Proben der Aufschlüsse HW03 und HW04. Auffallend bei den beiden Gruppen sind die unterschiedlichen Nebengesteine. Während HW03 und HW04 von Glimmerschiefern umgeben sind, handelt es sich bei HW01 und HW02 um Silikatmarmore. Da die Nb-Ta-Mineralen von HW01 und HW02 in unterschiedlichen Mengen Ca enthalten, ist es möglich, dass das Ca aus dem Silikatmarmor, durch Reaktion mit der Pegmatitschmelze, stammt.

### 7.2.4.1 HW01 und HW02

Es wurden vier Subproben analysiert (HW0101, HW0102, HW0203, HW0204). Die Gehalte an Quarz sind mit 2 – 11% geringer als bei Mitterberg und Lachtal. Die Gehalte der Feldspäte variieren zwischen 0,7 und 23%. Die Gehalte von Granat und Spodumen sind hoch. Granat liegt zwischen 13 und 46%, Spodumen zwischen 3 und 51%. Turmalin ist mit < 0,3% nur in geringen Mengen vorhanden.

Der Gehalt der Nb-Ta-Mineralen liegt zwischen 1,3 und 4,1%. Im Durchschnitt aller vier Proben sind über 98% „andere Nb-Ta-Mineralen“ (Abbildung 42). Davon besteht mehr als die Hälfte aus Mineralen der Pyrochlorgruppe. Der Rest setzt sich zusammen aus Mineralen der Mikrolithgruppe, nicht näher bestimmten Nb-Ta-Phasen und Y-Euxenit. Als Mineral der Columbit-Tantalitgruppe findet sich nur Mn-Columbit.

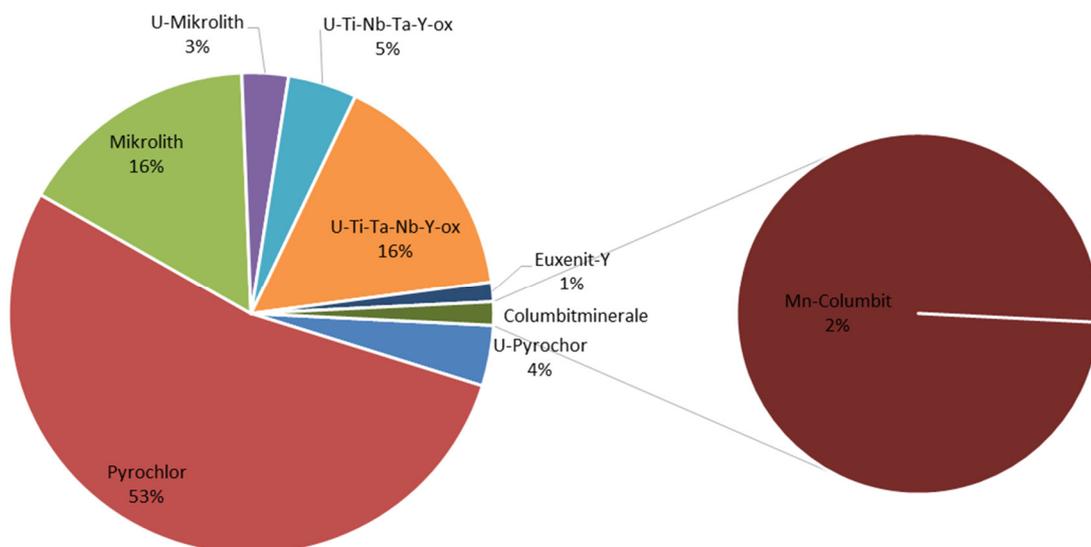


Abbildung 42: Kreisdiagramme zur Verteilung der Nb-Ta-Mineralen aus den Proben von HW01 und HW02.

### 7.2.4.2 HW03 und HW04

Es wurden bei den Probengruppen HW03 und HW04 je fünf Subproben analysiert. Bei HW03: HW0306, HW0307, HW0308 und HW0310. Bei HW04: HW0411, HW0413, HW0414, HW0415 und HW0416. Die Quarzgehalte sind mit 1,5 – 16,6% niedrig. Die Albitgehalte liegen zwischen 1,3 und 34% und liegen in den einzelnen Proben deutlich über denen des Orthoklas. Die Granatgehalte variieren sehr stark, von einer Zone (HW0413) mit sehr wenig Granat < 1% bis zu HW0416 mit 78%. Die Proben von HW04 haben mit 5,8 – 68% höhere Spodumengehalte als die Proben von HW03 mit < 1% - 8,5%. Drei Proben (HW0307, HW0310 und HW0416) haben mit 5 – 23,7% höhere Turmalingehalte, die anderen Proben liegen im Bereich von 1%. Die Proben aus HW03 und HW04 zeigen erhöhte Gehalte an den Schwermineralen Apatit, Zirkon, Kassiterit und Monazit. Die Probe HW0415 hat mit 5,3% an Zirkon den höchsten Wert der gesamten Messreihe. Den höchsten Monazitgehalt hat mit 2,1% HW0309.

Die Gehalte an Nb-Ta-Mineralen variieren zwischen < 1% bis ca. 16% bei HW0309. Die Durchschnittswerte der zehn Proben sind in Abbildung 43 dargestellt. Ca. 80% der Nb-Ta-Mineralen sind Minerale der Columbit-Tantalitgruppe. Ca. 20% sind andere Nb-Ta-Mineralen. Von den 20% besteht der Großteil, über 80%, aus Mikrolith und Pyrochlor.

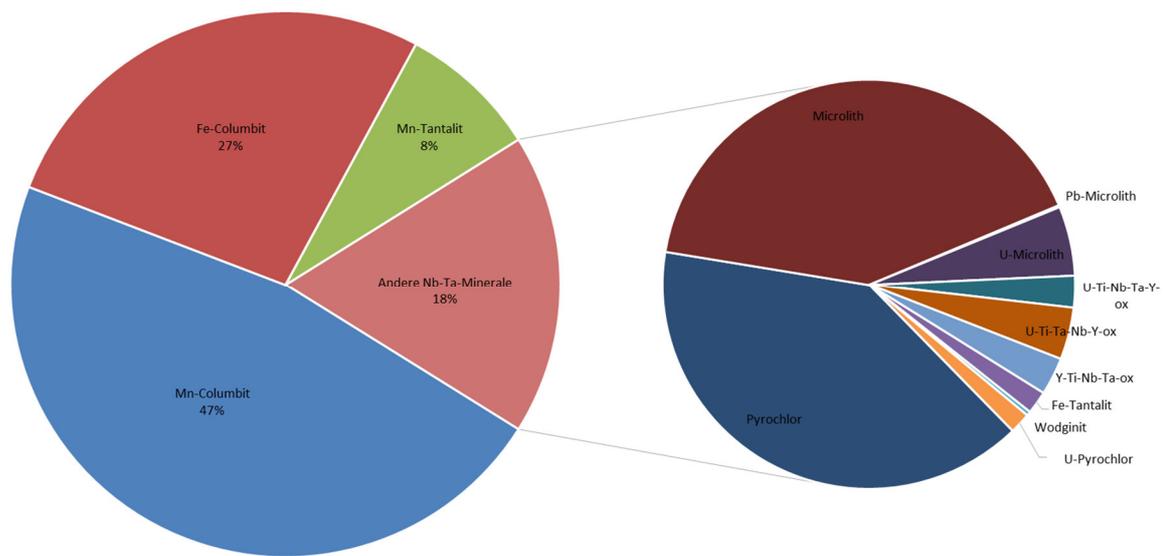


Abbildung 43: Kreisdiagramme zur Verteilung der Nb-Ta-Mineralen aus den Proben von HW03 und HW04.

### 7.3 Elektronenstrahlmikrosondenanalysen an Mineralen der Columbit-Tantalitgruppe

Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der Columbit-Tantalitgruppenminerale werden im Columbit-Quadrilateral-Diagramm dargestellt. In diesem werden auf der horizontalen Achse die atomaren Verhältnisse (in %) von  $Mn/(Mn+Fe)$  und auf der vertikalen Achse von  $Ta/(Ta+Nb)$  aufgetragen. Entsprechend der gültigen Klassifikation handelt es sich bei  $Ta/(Ta+Nb)$  von  $< 50\%$  um Columbite, bei  $> 50\%$  um Tantalite. Bei  $Mn/(Mn+Fe) < 50\%$  handelt es sich um Fe-Columbit oder Fe-Tantalit, bei  $> 50\%$  um Mn-Columbit oder Mn-Tantalit (siehe Abbildung 44).

Die Mikrosondenergebnisse mit den verrechneten Kationen auf Basis von 6 Sauerstoff sowie die  $Mn/(Mn+Fe)$ - und die  $Ta/(Ta+Nb)$ -Verhältnisse sind in Tabelle 9 bis Tabelle 11 im Anhang zu finden. Bei den Auswertungen der einzelnen Lokalitäten wurden im jeweiligen Diagramm jene Punkte nummeriert, welche auch in den BSE-Bildern markiert wurden. Mehrere Messpunkte innerhalb eines Kornes sind mit Linien verbunden. Bei Körnern wo eine deutliche Zonierung von innen nach außen erkennbar ist, wird diese zusätzlich mit einem Pfeil markiert. Die Messpunkte sind je Lokalität von 1 fortlaufend nummeriert und werden in den jeweiligen BSE-Bildern mit dieser Nummerierung dargestellt.

Die Ergebnisse der Mikrosondenanalyse der anderen Nb-Ta-Minerale sind in Tabelle 12 im Anhang aufgelistet und sind nach steigendem CaO-Gehalt geordnet. Die Nummerierung erfolgt je Lokalität mit #1 fortlaufend.

### 7.3.1 Alle Lokalitäten

In Abbildung 44 sind die Ergebnisse aller vier Pegmatitareale dargestellt. Das Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis variiert zwischen 27 und 73% und das Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis zwischen 6 und 63%. Der Großteil der Daten liegt im Columbitfeld und teilt sich ca. je zu Hälfte auf das Fe- und Mn-Columbitfeld auf. Einige Analysen fallen in das Fe-Tantalitfeld und nur sehr wenige in das Mn-Tantalitfeld.

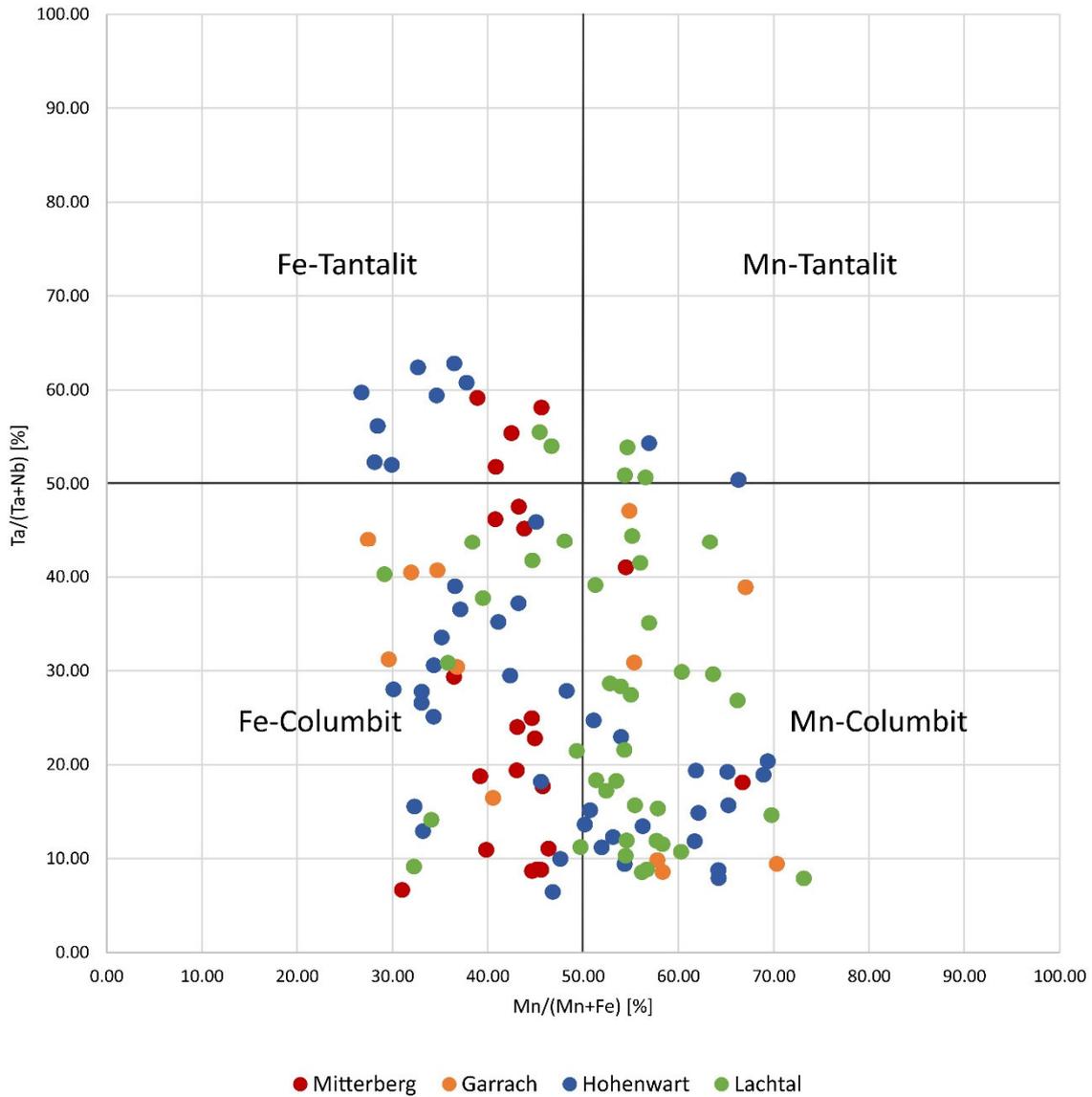


Abbildung 44: Zusammensetzung der Minerale der Columbit-Tantalitgruppe aus allen vier untersuchten Lokalitäten dargestellt im Columbit-Quadrilateral-Diagramm (Prozent der atomaren Elementverhältnisse).

### 7.3.2 Mitterberg

Beim Mitterberg wurden in den Proben MB0102, MB0203 und MB0611 Columbite gefunden. Die Messdaten sind in Abbildung 45 dargestellt. Der Großteil der Daten hat ein mit 46 – 50% ausgeglichenes Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis. Die Columbite aus MB0102 und MB0203 sind zoniert und haben ein Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis zwischen ca. 20 und 60%. Die Zonierungen sind unterschiedlich ausgeprägt. Bei einem Columbitkorn aus MB0102 (Abbildung 46a, Messpunkte 1,2 und 3) ist ein von innen nach außen zunehmender Tantalgehalt zu beobachten. Bei einem zweiten Columbitkorn (Abbildung 46, b) derselben Zone ist die Zonierung eher fleckig ausgebildet wobei die zeitliche Beziehung zwischen Nb- und Ta-reichen Zonen unklar ist. Die Columbite von MB0203 (Abbildung 46, c und d) haben teilweise eine feine komplexe oszillierende Wachstumszonierung mit wechselndem Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis zwischen den einzelnen Zonen. Die Columbite aus MB0611 sind eher homogen bis fleckig (Abbildung 46, e und f) und haben ein deutlich niedrigeres Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis.

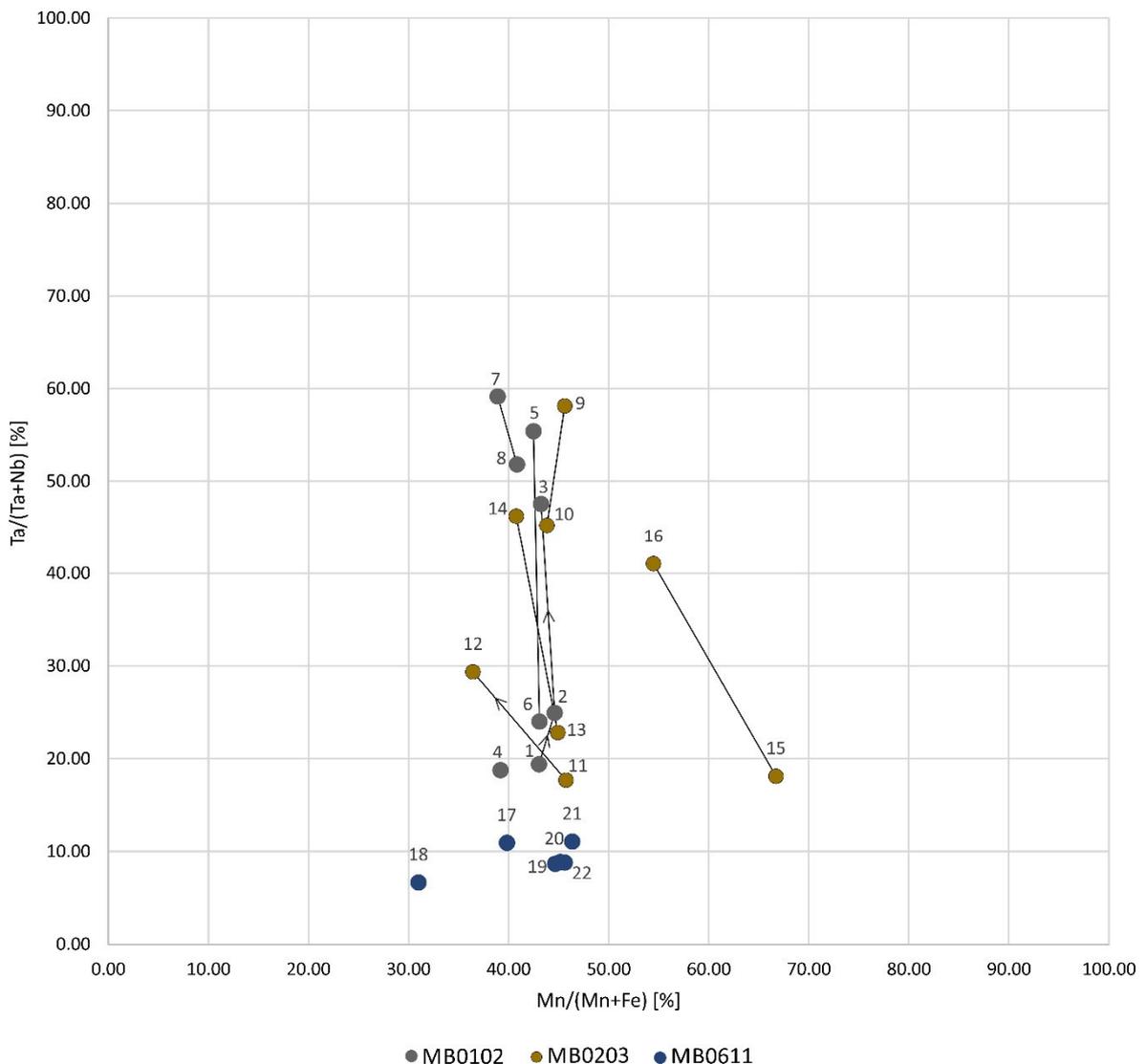


Abbildung 45: Minerale der Columbit-Tantalitgruppe von Mitterberg

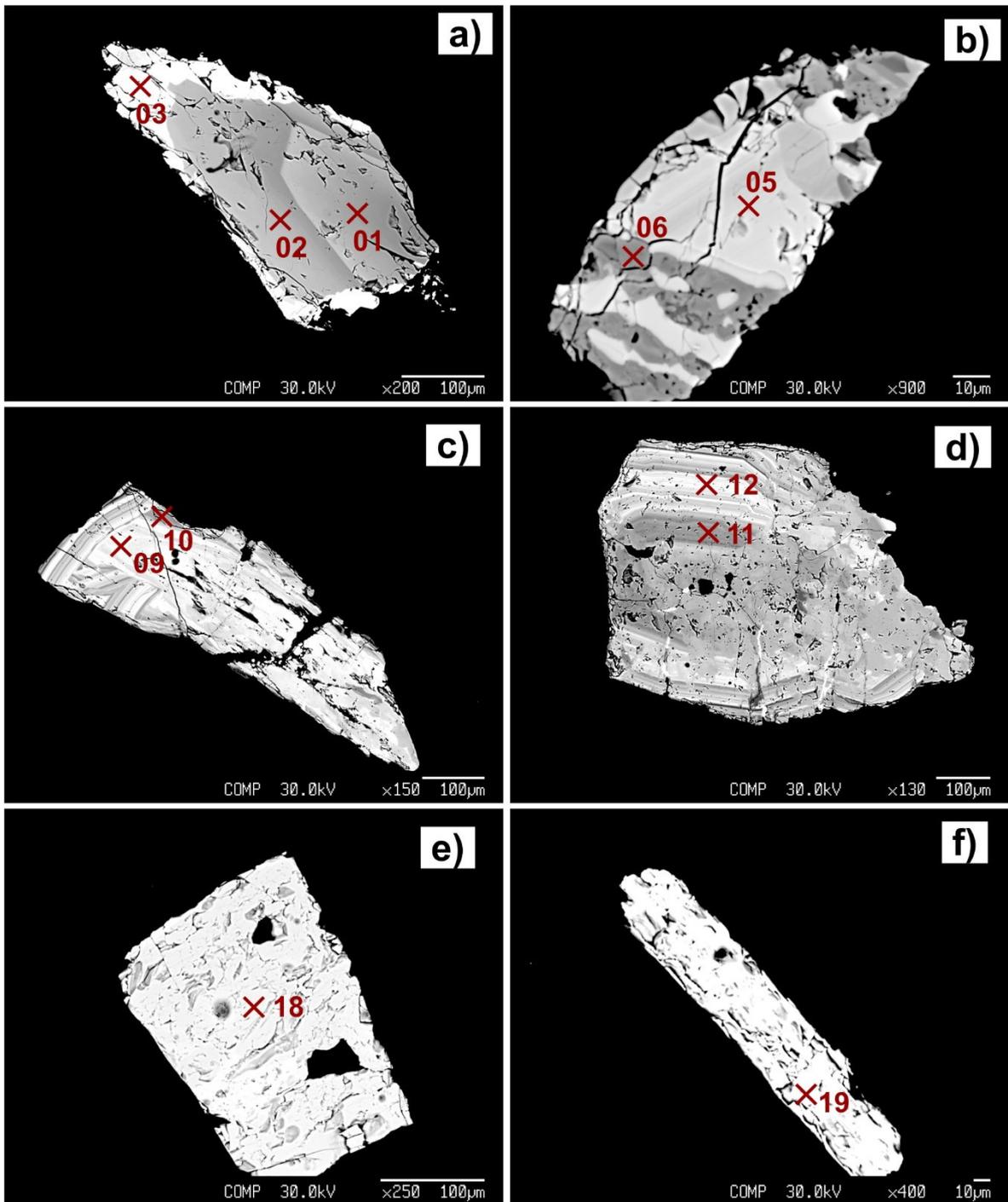


Abbildung 46: BSE-Bilder von Mineralen der Columbit-Tantalitgruppe von Mitterberg.

a) zonierter Fe-Columbit mit Zunahme des Ta-Gehaltes zum Rand, MB0102. b) Fleckig zonierter Fe-Columbit-Tantalit, MB0102. c) und d) Columbite mit feiner oszillatorischer Wachstumszonierung aber auch fleckigen Bereichen, MB0203. e) und f) beides sind homogen bis leicht fleckig zonierte Fe-Columbite, MB0611.

### 7.3.3 Garrach

Vom Pegmatit in Garrach wurden in den Proben GA0101, GA0103, GA0106, GA0207, GA0208 und GA0209 jeweils nur wenige Columbitkörner gefunden. Die Zusammensetzungen sind in Abbildung 47 dargestellt. Das Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis der gesamten Daten variiert stark zwischen ca. 30 und 70%. Die einzelnen Körner hingegen haben ein konstantes Mn/Fe-Verhältnis. Es handelt sich demnach um Fe- und Mn-Columbite. Die meisten Körner sind fleckig zoniert (Abbildung 48, a, d) oder zeigen komplexen oszillatorischen Zonarbau (Abbildung 48, c). Das Korn in (Abbildung 48 b, Messpunkte 5 und 6) zeigt eine Innen- und Außenzone, wobei die äußere Zone tantalreicher ist.

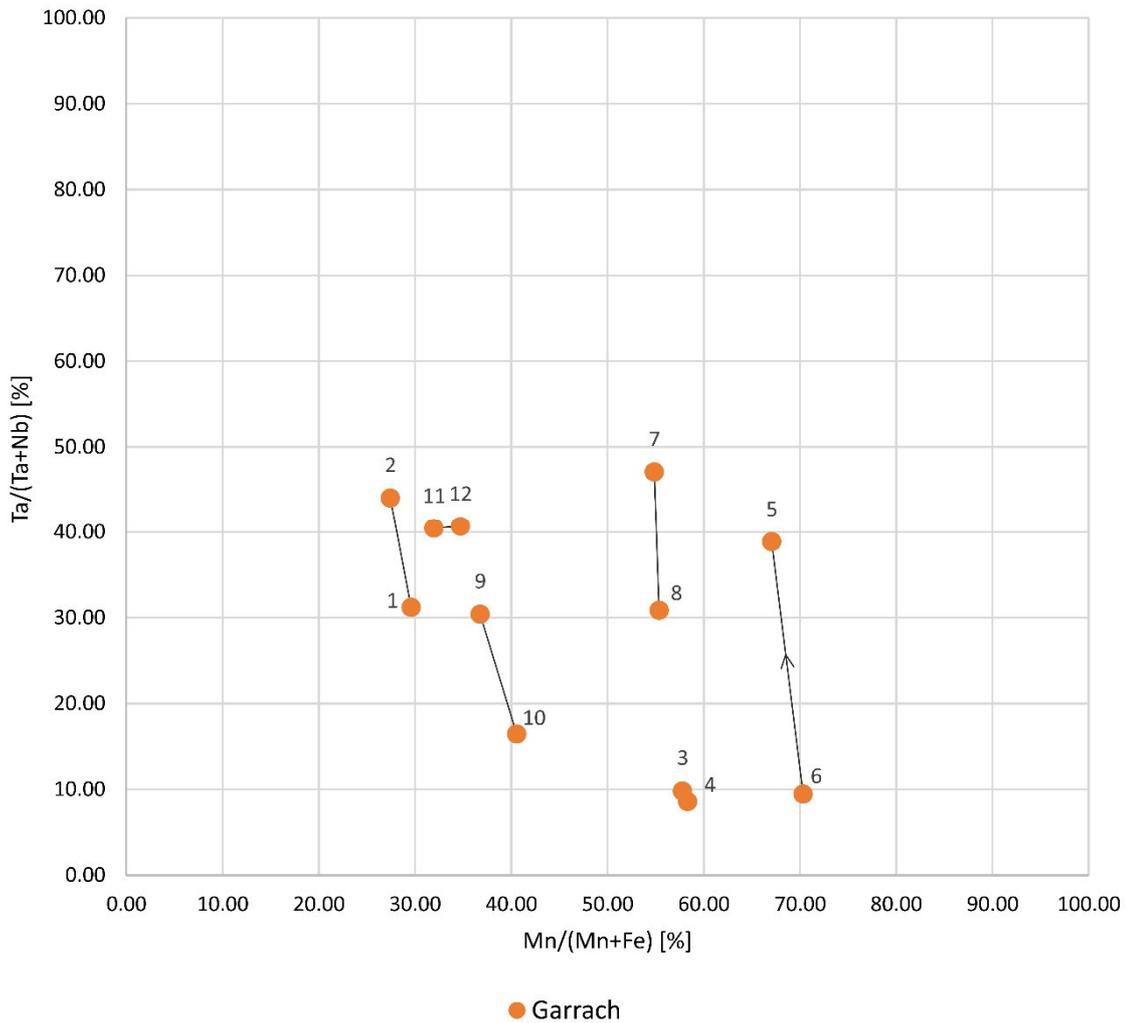


Abbildung 47: Minerale der Columbit-Tantalitgruppe von Garrach

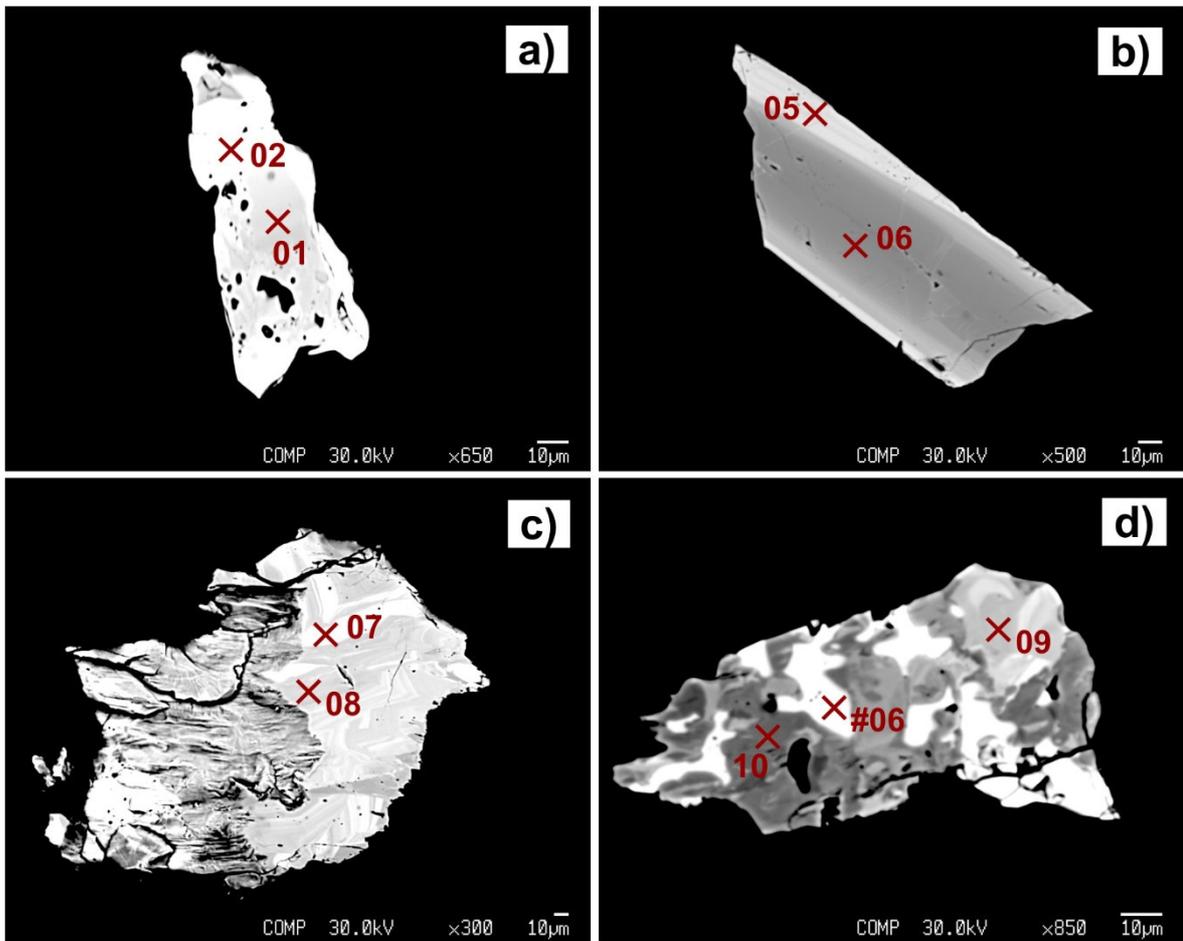


Abbildung 48: BSE-Bilder von Nb-Ta-Mineralen von Garrach.

a) fleckig zonierter Fe-Columbit, GA0101. b) Mn-Columbit mit zwei unterschiedliche Zonen, wobei die äußere Zone tantalreicher ist, GA0103. c) fleckig bis fein oszillatorisch zonierter Mn-Columbit, GA0106. d) fleckig zonierter Fe-Columbit verwachsen mit einem Mineral der Euxenitgruppe? (#06), GA0106.

### 7.3.4 Lachtal

Die mit der Mikrosonde gemessenen Columbitkörner von Lachtal stammen aus folgenden Proben: LA0101, LA0102, LA0205, LA0306, LA0407, LA0508 und LA0610. Die gemessenen Daten variieren stark, sowohl im Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis das zwischen ca. 30 und 73% variiert und im Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis das zwischen < 10 und 55% schwankt (Abbildung 49). Generell zeigen einzelne Körner ein eher homogenes Mn/Fe-Verhältnis. Die Körner sind meist fleckig zoniert und zum Teil mit Kassiterit und Ca-hältigen Nb-Ta-Phasen verwachsen (Abbildung 50, a, c, e). Beim Aufschluss LA01 ist auffallend, dass die Körner aus LA0101 homogen sind (Abbildung 50, a, b) mit einem niedrigen Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis und die Körner aus LA0102 fleckig und feinelaminiert zoniert mit wechselndem Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis (Abbildung 50, c, d). Eine Zonierung ist an einigen Körnern zu beobachten (Abbildung 51, b, d, f). Beim ersten Korn (Messpunkte 24, 25, 26) nimmt nach außen der Gehalt an Niob und Mangan zu, beim zweiten und dritten Korn (Messpunkte 29, 30 bzw. 33, 34, 35) nimmt nach außen hin der Gehalt an Tantal zu. Das Mn/Fe-Verhältnis bleibt dabei nahezu unverändert.

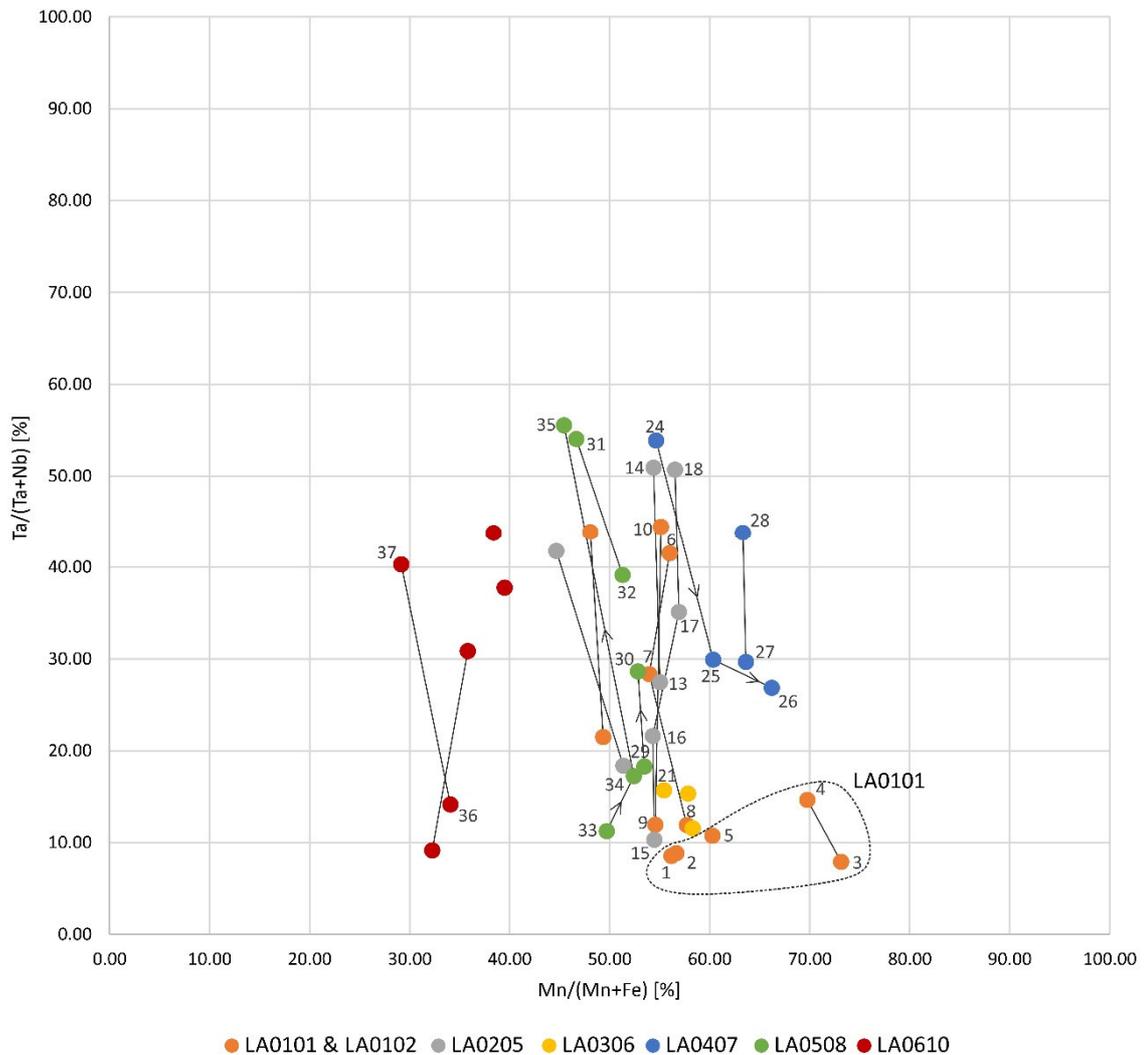


Abbildung 49: Minerale der Columbit-Tantalitgruppe von Lachtal

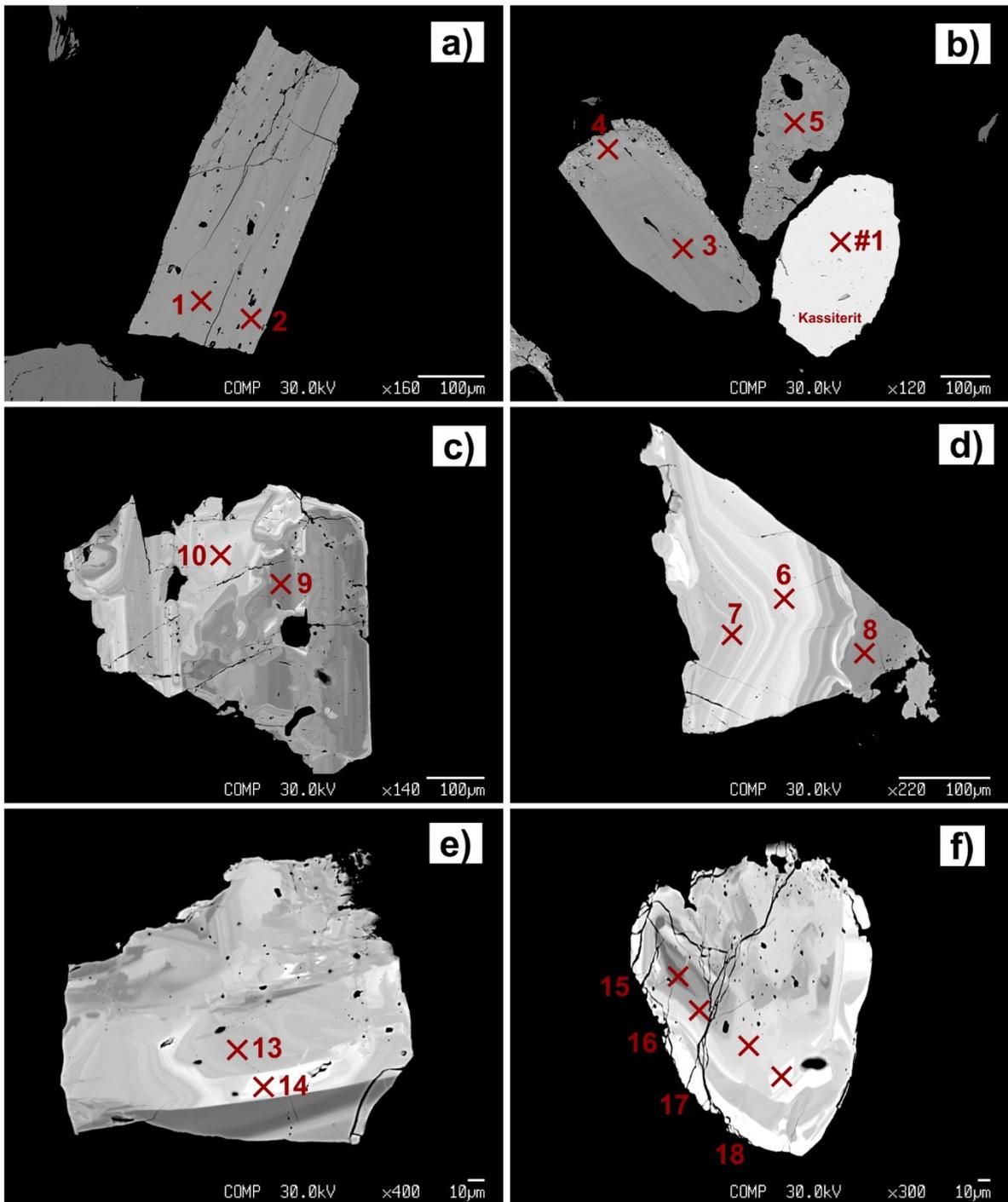
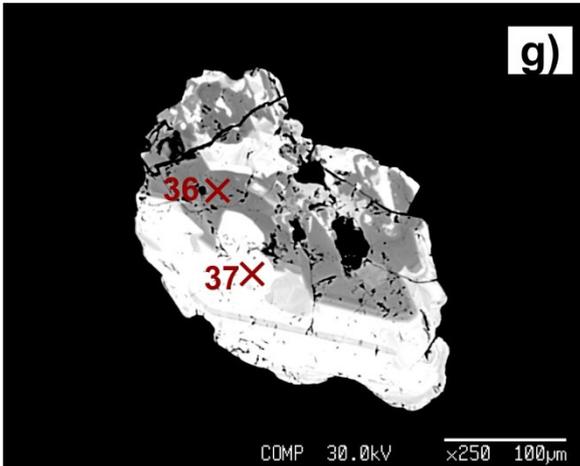
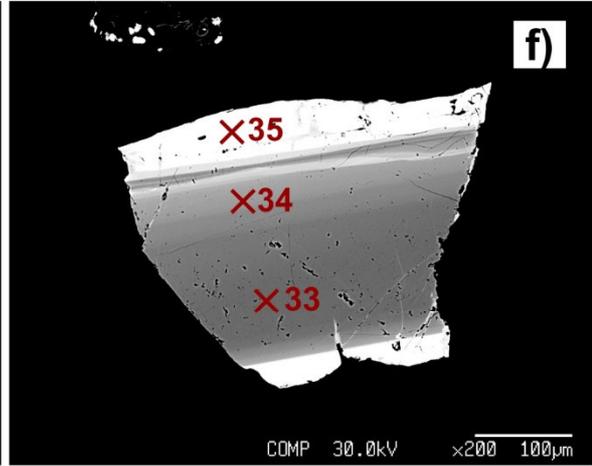
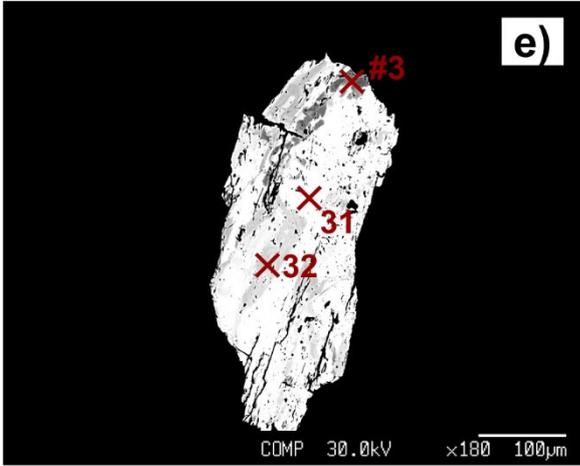
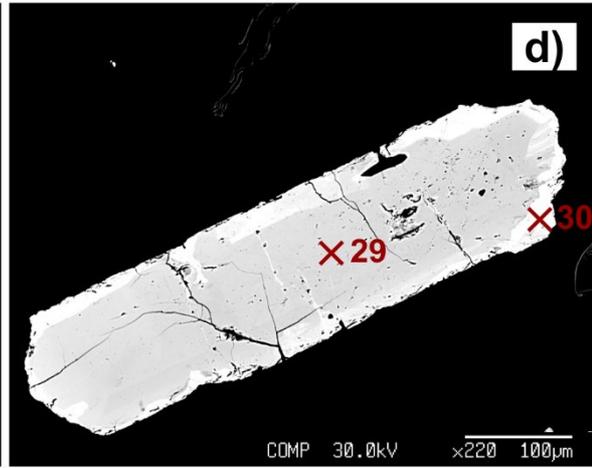
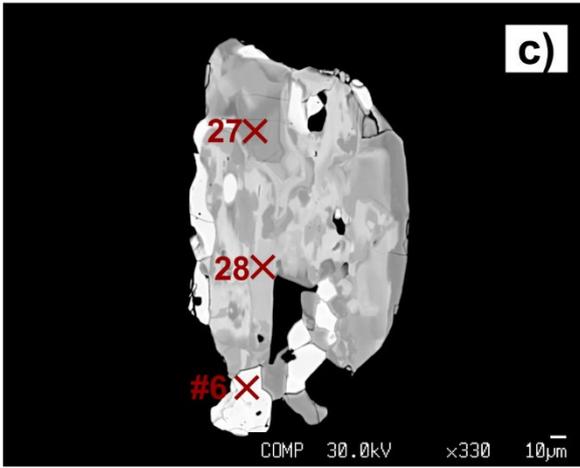
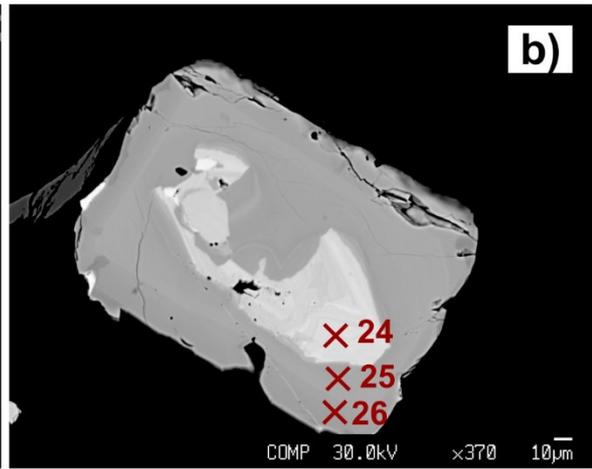
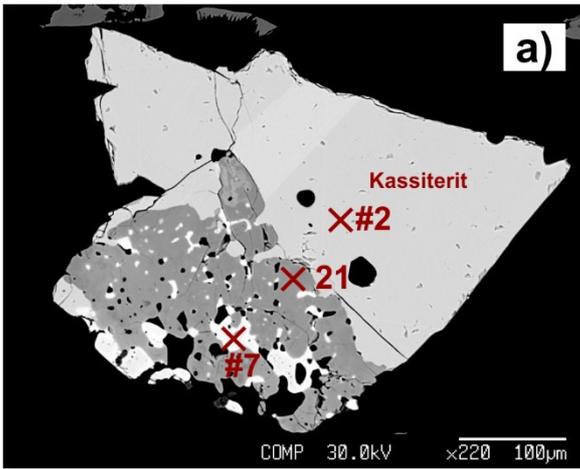


Abbildung 50: BSE-Bilder von Mineralen der Columbit-Tantalitgruppe von Lachtal

a) und b) eher homogene Mn-Columbite und ein Kassiterit, LA0101. c) und d) fleckig und fein oszillatorisch zonierte Mn-Columbite, LA0102. e) und f) fleckig zonierte Mn-Columbite-Tantalite mit wechselndem Ta/Nb- aber eher gleichbleibendem Mn/Fe-Verhältnis, LA0205.

Nächste Seite:

Abbildung 51: BSE-Bilder von Nb-Ta-Mineralen von Lachtal



a) Mn-Columbit ver wachsen mit Kassiterit (#2) und einem Mineral der Euxenitgruppe? (#7), LA0306. b) zonierter Mn-Columbotantalit mit höheren Nb-Gehalten am Rand, LA0407. c) fleckig zonierter Mn-Columbit ver wachsen mit einem Mineral der Euxenitgruppe?. d) und f) von innen nach außen zoniert mit höheren Ta-Gehalten am Rand, LA0508. e) fleckig zoniert und mit einem Mineral der Euxenitgruppe? ver wachsen, LA0508. g) fleckig zonierter Fe-Columbit, LA0610.

### 7.3.5 Hohenwart

Bei HW01 und HW02 finden sich großteils nur andere Nb-Ta-Mineralen und keine Minerale der Columbit-Tantalitgruppe (Kapitel 7.2). Die in Abbildung 52 dargestellten Mikrosondenergebnisse stammen von den Aufschlüssen HW03 und HW04 und dort aus den Proben HW0306, HW0307, HW0309, HW0411, HW0413, HW0414, HW0415 und HW0416. Die Proben aus HW03 haben eher ein niedrigeres Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis und ein variables Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis als die von HW04. Die Proben aus HW04 sind generell tantalreicher und haben ein weniger variables Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis. Die meisten Körner sind zoniert und zum Teil mit Ca-hältigen Nb-Ta-Phasen verwachsen (Abbildung 53, a und b und Abbildung 54, d). Das größte gefundene Columbitkorn (Abbildung 53, e, Messpunkte 10, 11 und 12) ist mit Ausnahme einzelner tantalreicherer Zonen (Messpunkt 12) homogen. Die Körner von HW04 sind häufig vor allem an den Randzonen oszillatorisch (Abbildung 54, a, b, c, f) und / oder fleckig zoniert (d). Teilweise ist eine oszillatorische Wachstumszonierung erhalten, die aber von Ta-reichen Randzonen verdrängt wird (Abbildung 53 c). Es gibt auch Körner in denen Kerne mit einer fleckigen Zonierung von oszillatorischen Wachstumszonen umrandet werden (Abbildung 54 b).

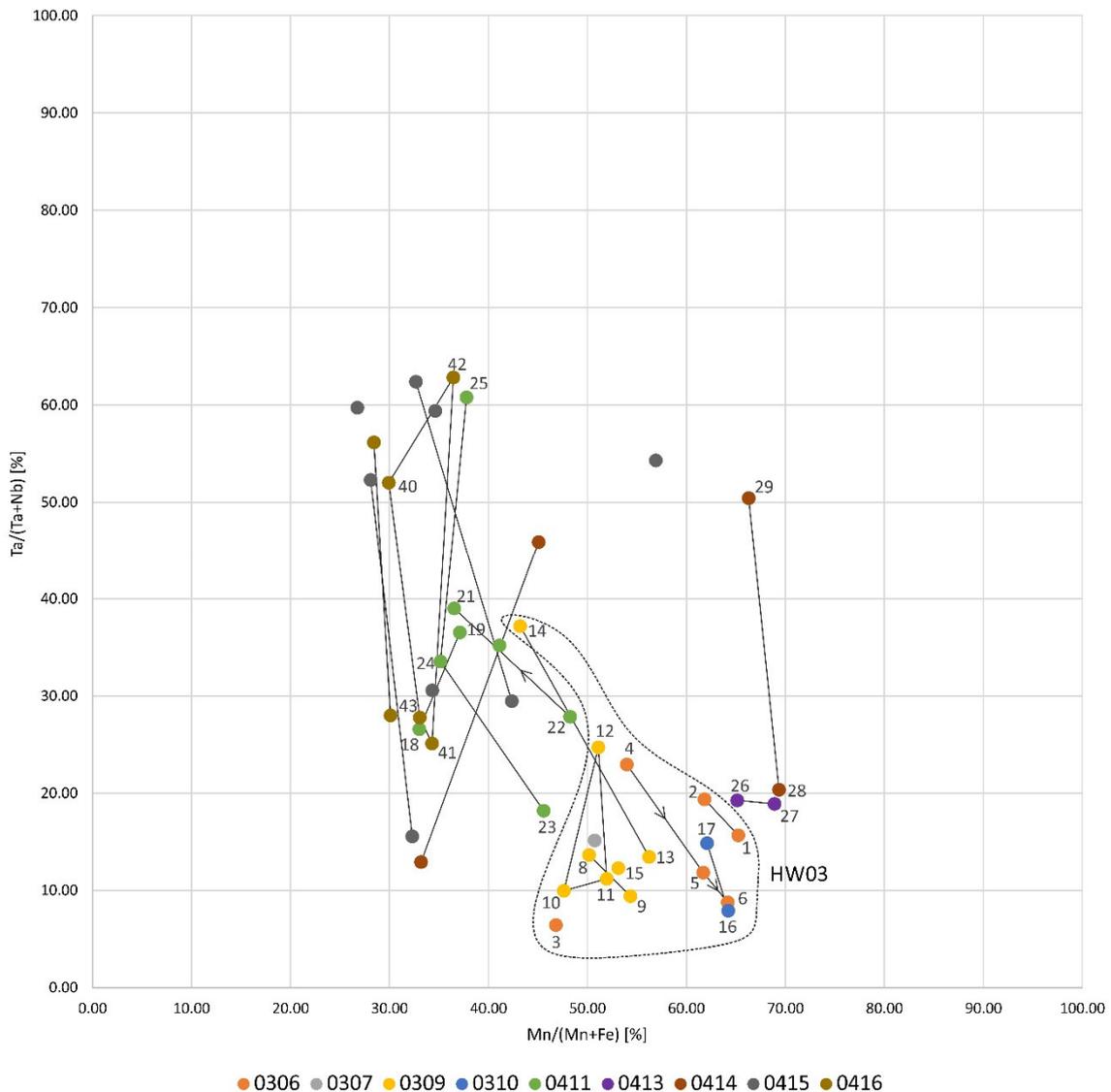


Abbildung 52: Minerale der Columbit-Tantalitgruppe von Hohenwart (HW03 und HW04)

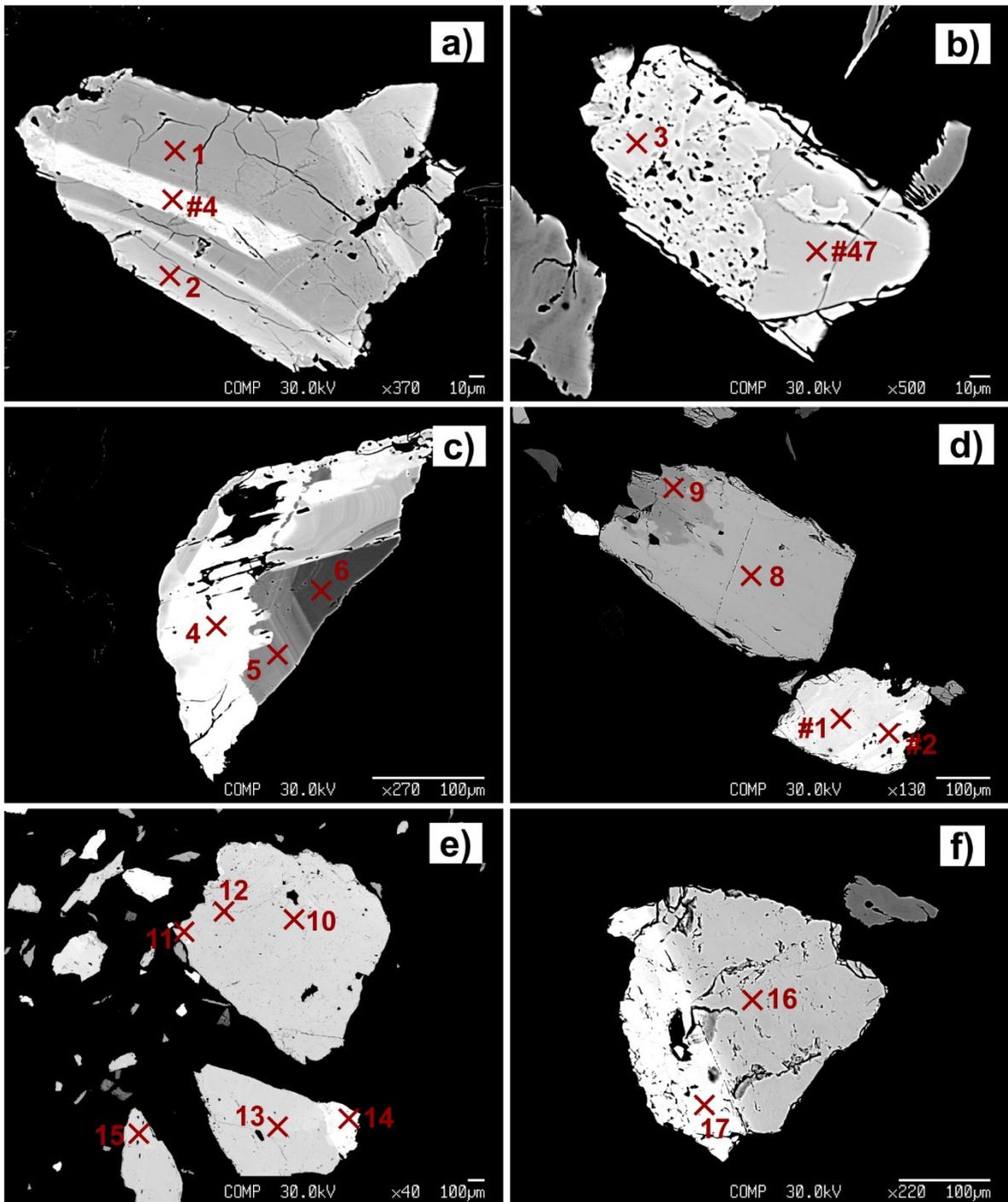


Abbildung 53: BSE-Bilder von Nb-Ta-Mineralen von Hohenwart vom Aufschluss HW03

a), b) und c) stammen aus HW0306. a) zonierter Mn-Columbit, HW0306. b) Fe-Columbit verwachsen mit einem Euxenitgruppenmineral?, HW0306. c) eine ältere Wachstumszonierung von einer jüngeren Zone (tantalreich) fleckig verdrängt, HW0306. d) und e) eher homogene Columbite mit einzelnen tantalreichen Bereichen (12 und 14), HW0309. Das zweite Korn in d) ist wahrscheinlich ein Mineral der Betafitgruppe (#1 und #2). f) Mn-Columbit mit einer breiteren Ta-reichen Randzone, HW0310.

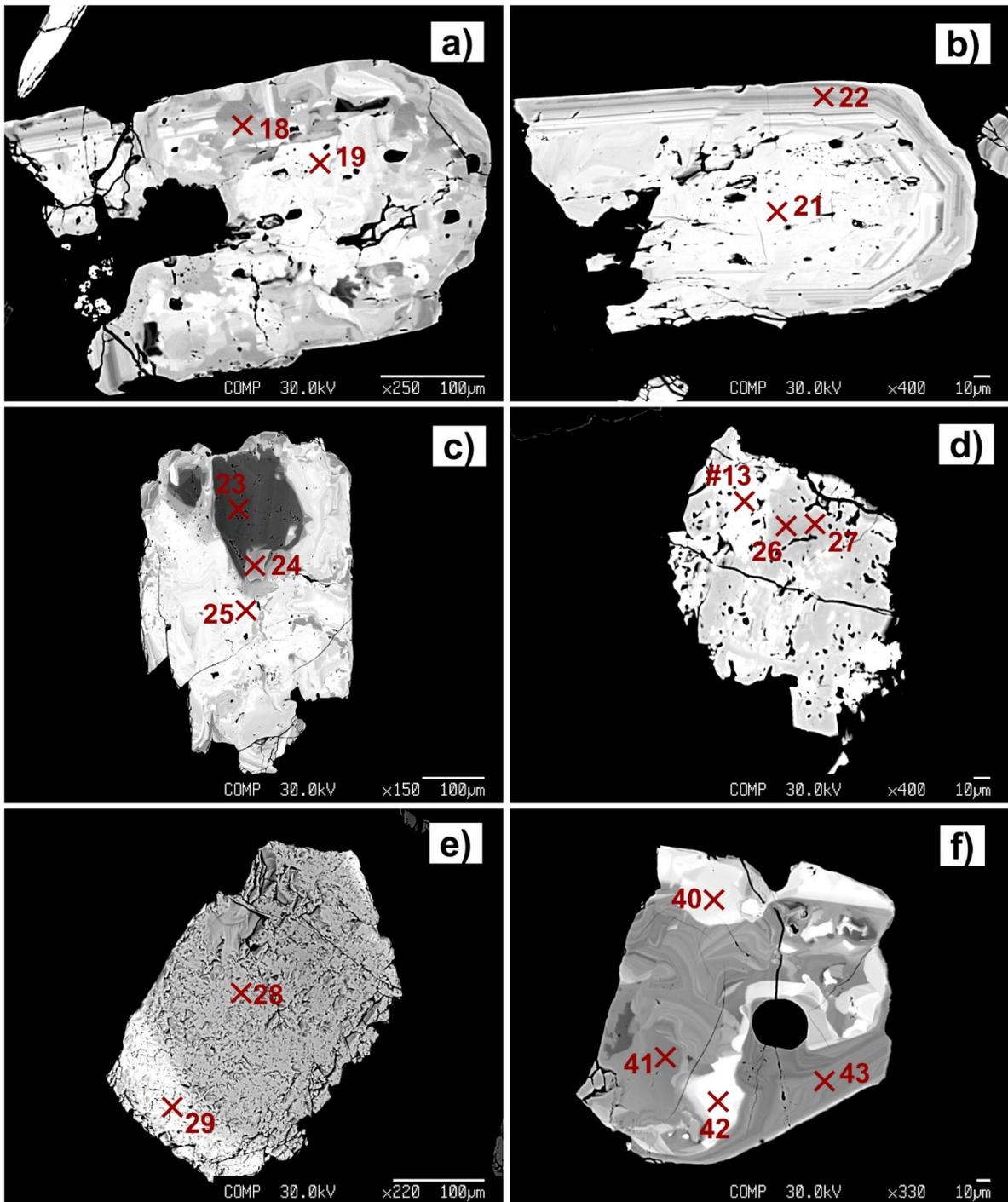


Abbildung 54: BSE-Bilder von Nb-Ta-Mineralen von Hohenwart vom Aufschluss HW04.

a) und b) Fe-Columbite mit einer älteren, speziell in den Randbereichen, feinen oszillatorischen Zonierung, welche durch fleckige Zonierung teilweise verdrängt wird, HW0411. c) fleckig zonierter Mn-Tantalit mit niobreichem Kern, HW0411. d) fleckig zonierter Mn-Columbit verwachsen mit einem Mineral der Euxenitgruppe?, HW0413. e) Mn-Columbit (28) und Mn-Tantalit (29), HW0414. f) Fe-Tantalit (40 und 42) hell verwachsen mit Fe-Columbit (41 und 43) dunkel, HW0416.

## 7.4 EMPA und LA-ICP-MS Analysen der Muskovite

Die Ergebnisse der Haupt- und Spurenelementanalysen an Muskovit werden in X-Y-Diagrammen dargestellt. Der komplette Datensatz findet sich in Tabelle 13 bis Tabelle 17 im Anhang. Die Hauptelemente K, Fe, Al und Si wurden mit der EMPA die Spurenelemente mit LA-ICP-MS gemessen. Um die große Schwankungsbreite in den Konzentrationen einiger Spurenelemente zu berücksichtigen erfolgte die Kalibration der Spurenelemente bei einem Wert  $> 200$  ppm mit dem Standard NIST 610 und bei  $< 200$  ppm mit NIST 612. Folgende Spurenelemente wurden mit dem NIST 610 Standard ausgewertet: Li, Ti, Mn, Rb, Nb, Sn und Cs.

In einem ersten Schritt werden die Daten aller vier Lokalitäten summarisch dargestellt. In den weiteren Kapiteln werden die Ergebnisse für die einzelnen Lokalitäten im Detail präsentiert.

Für die summarische Darstellung der Daten werden folgende Diagramme verwendet: K/Tl zu Rb, Rb zu Tl und K/Rb zu je Cs, Li, Sn, Tl, Fe/Mn, Nb/Ta, Nb und Ta. Die Verhältnisse von K/Tl, K/Rb, Fe/Mn und Nb/Ta werden als Konzentrationsverhältnisse (ppm/ppm) und die Elemente in ppm dargestellt. Alle Diagramme, bis auf K/Rb zu Nb und Ta, werden doppellogarithmisch dargestellt. Die Nb und Ta-Diagramme werden nicht logarithmisch dargestellt. Die Skalierung der Diagramme ist aus der Literatur (*Cerny et al. 1984 und Küstner et al. 2009*) übernommen.

Für die Auswertung der einzelnen Lokalitäten werden folgende Diagramme verwendet: K/Tl, Rb/Tl, und K/Rb zu je Cs, Li, Sn, Tl, Nb und Ta. Bis auf Nb und Ta, werden die Parameter doppellogarithmisch dargestellt. Die Skalierung ist den Wertebereichen der einzelnen Lokalitäten angepasst und ist somit bei jeder Lokalität unterschiedlich. Einzig die K/Rb-Skala auf der Y-Achse ist gleich, bei logarithmischer Darstellung von 10 – 100 und bei nicht logarithmischer von 0 – 100. Die Daten von vererzten Proben (Nb-Ta-Minerale führend) werden mit einem Punkt dargestellt, die unvererzten mit einem Quadrat.

### 7.4.1 Gemeinsame Darstellung aller vier Lokalitäten

Die Diagramme mit den summarischen Ergebnissen aller vier Lokalitäten sind in Abbildung 55 und Abbildung 56 dargestellt. Hohenwart ist die Lokalität mit den niedrigsten K/Rb- und K/Tl-Verhältnissen. Garrach zeigt die höchsten K/Rb- und K/Tl-Verhältnisse. Die Werte von Lachtal und Mitterberg decken, auch aufgrund der größeren Anzahl an Messdaten, einen größeren Wertebereich ab und liegen zwischen Garrach und Hohenwart mit generell niedrigeren K/Tl und K/Rb-Verhältnissen der Proben von Lachtal.

Es zeigen sich sehr gute Korrelationen zwischen den Elementen K, Rb und Tl, was mit magmatischen Differentiationsprozessen erklärt werden kann (Abbildung 55 a, b und f). Je höher die Fraktionierung desto mehr Tl und Rb im Vergleich zu K werden in die Muskovite eingebaut und umso niedriger werden dadurch die K/Tl- und K/Rb-Verhältnisse (Abbildung 55 a und f). Die Kaliumgehalte der Muskovite sind recht homogen. Sie schwanken zwischen 7,77 und 8,65% K. Die Rb- und Tl-Werte schwanken in einem größeren Bereich und liegen

für Rb zwischen 864 und 5065 ppm und für Tl zwischen 5 und 27 ppm. Das Rb/Tl-Verhältnis (Diagramm b) liegt zwischen 149 und 244. Zum Vergleich werden auch die Felder anderer Ta-Pegmatitprovinzen geplottet. Die Werte von Kenticha stammen aus *Küstner et al. (2009)* und die von Altai, Tanco und der Halbinsel Kola aus *Cerny et al. (1985)*. Für die Diskussion sei auf Kapitel 8 verwiesen.

In Abbildung 55 c und d werden die Daten für Cs und Li gezeigt und mit jenen aus *Cerny & Burt (1984)* verglichen. Die Werte von Cs (Abbildung 55 c) variieren recht stark. Die niedrigsten Cs-Gehalte haben die Proben aus Garrach mit Werten zwischen 14 und 130 ppm. Die Werte der anderen Lokalitäten liegen zwischen 50 und 1300 ppm. Die Li-Werte (Diagramm d) streuen von 200 – 1200 ppm mit den durchschnittlich höchsten Li-Gehalten aus den Proben von Garrach und Hohenwart. Der Großteil der Messwerte von Cs liegt im Mozambique-Typ Feld überlappend mit den Feldern der Muskovit Klasse. Die Messwerte von Li liegen ähnlich wie bei Cs überlappend zwischen den Feldern der Muskovit Klasse und der Seltenen Element Klasse.

Die Sn-Gehalte (Abbildung 55 e) variieren zwischen 102 – 1166 ppm, mit den durchschnittlich niedrigsten Gehalten aus den Proben von Garrach. Die Werte überlappen nur teilweise mit dem Beryl-Columbit Feld aus *Cerny & Burt (1984)*. Eine sehr gute Überlappung mit diesem zeigt sich in Diagramm f (K/Rb zu Tl).

In Abbildung 56 a - f werden die K/Rb-Verhältnisse gegen Fe/Mn, Nb-Ta, Nb und Ta geplottet. Die Fe/Mn-Verhältnisse (Abbildung 56 a) liegen zwischen 15 und 180, die Nb-Ta-Verhältnisse (Abbildung 56 b) zwischen 1,7 und 22. Eine klare Korrelation der Daten untereinander ist nicht erkennbar.

Abbildung 56 c – f stellen die K/Rb-Verhältnisse zu Nb bzw. Ta dar. Die Nb-Gehalte (Abbildung 56 c) variieren zwischen 40 und 503 ppm. Die Ta-Gehalte (Abbildung 56 d) liegen zwischen 6 und 140 ppm, mit zwei Ausreißern bei 258 und 665 ppm, welche im Diagramm nicht dargestellt sind. Eine systematische (statistisch signifikante) Korrelation zwischen den Fraktionierungsparameter K/Rb mit den absoluten Nb- und Ta-Konzentrationen ist nicht erkennbar. Es zeigt sich allerdings, dass Muskovite mit  $< K/Rb$  in einer Probe/Probengruppe von einer Lokalität eher  $<$  absolute Nb- und Ta-Konzentrationen haben als jene mit  $> K/Rb$ . Der Großteil der Daten liegt zwischen 6 und 50 ppm. In Abbildung 56 e und f wird unterschieden in Nb-Ta-Minere führende und nicht Nb-Ta-Minere führende Proben. Generell enthalten Proben mit einem K/Rb-Verhältnis  $< 40$ , bis auf eine Ausnahme, Nb-Ta-Minere. Bei einem K/Rb-Verhältnis von 40 bis 70 kommen vererzte als auch unvererzte Proben vor. Nb-Ta-Minere wurden in nur einer Probe (GA0101) mit  $K/Rb > 70$  festgestellt.

Muskovite mit  $> 50$  ppm Ta von Hohenwart und Lachtal stammen in der Regel aus Nb-Ta-Minere führenden Proben. Daher könnten sehr hohe Ta-Konzentrationen (z.B.  $> 50$  ppm) durchaus indikativ für Pegmatite mit Nb-Ta-Führung sein, auch wenn die Nb- und Ta-Konzentrationen in Muskoviten nicht mit Fraktionierungsparametern wie K/Rb (oder in ähnlicher Weise K/Tl) korrelieren.

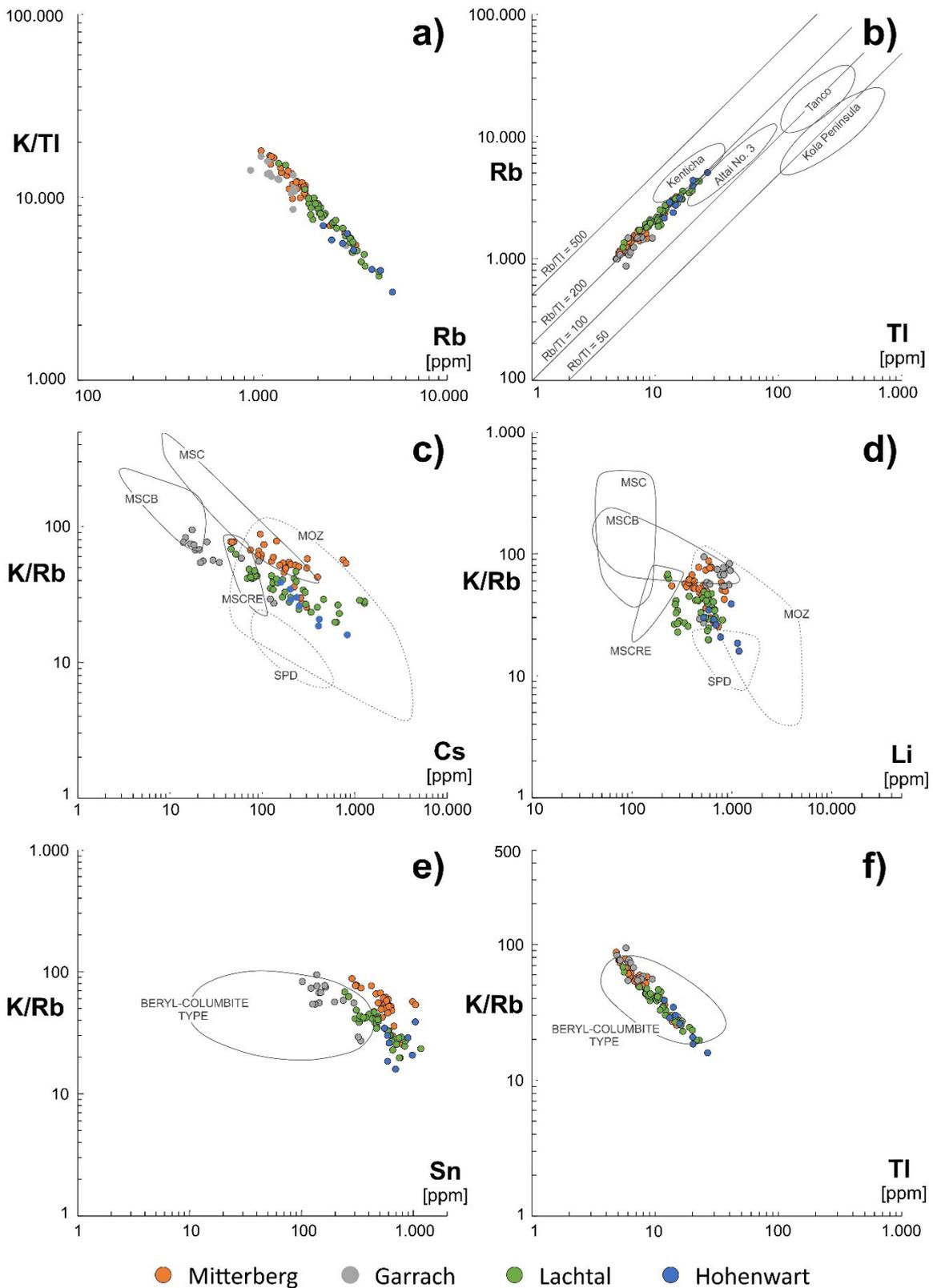


Abbildung 55: Doppellogarithmische Diagramme zeigen chemische Variationen in Muskoviten aus allen vier Lokalitäten.

Die Vergleichsdaten aus Diagramm b) stammen von *Küstner (2009)*. Die Vergleichsdaten aus den Diagrammen c) – f) stammen aus *Cerny & Burt (1984)*. Die mit durchgehenden Linien markierten Felder entsprechen Pegmatiten der Muskovit-Klasse und sind: MSC...Muskovit-Typ taub; MSCRE...Muskovit-Typ an Seltenen Elementen angereichert. Die strichlierten Felder entsprechen Pegmatiten der Seltenen Element-Klasse und sind: SPD...Spodumenpegmatit-Typ und MOZ...Mozambique-Typ.

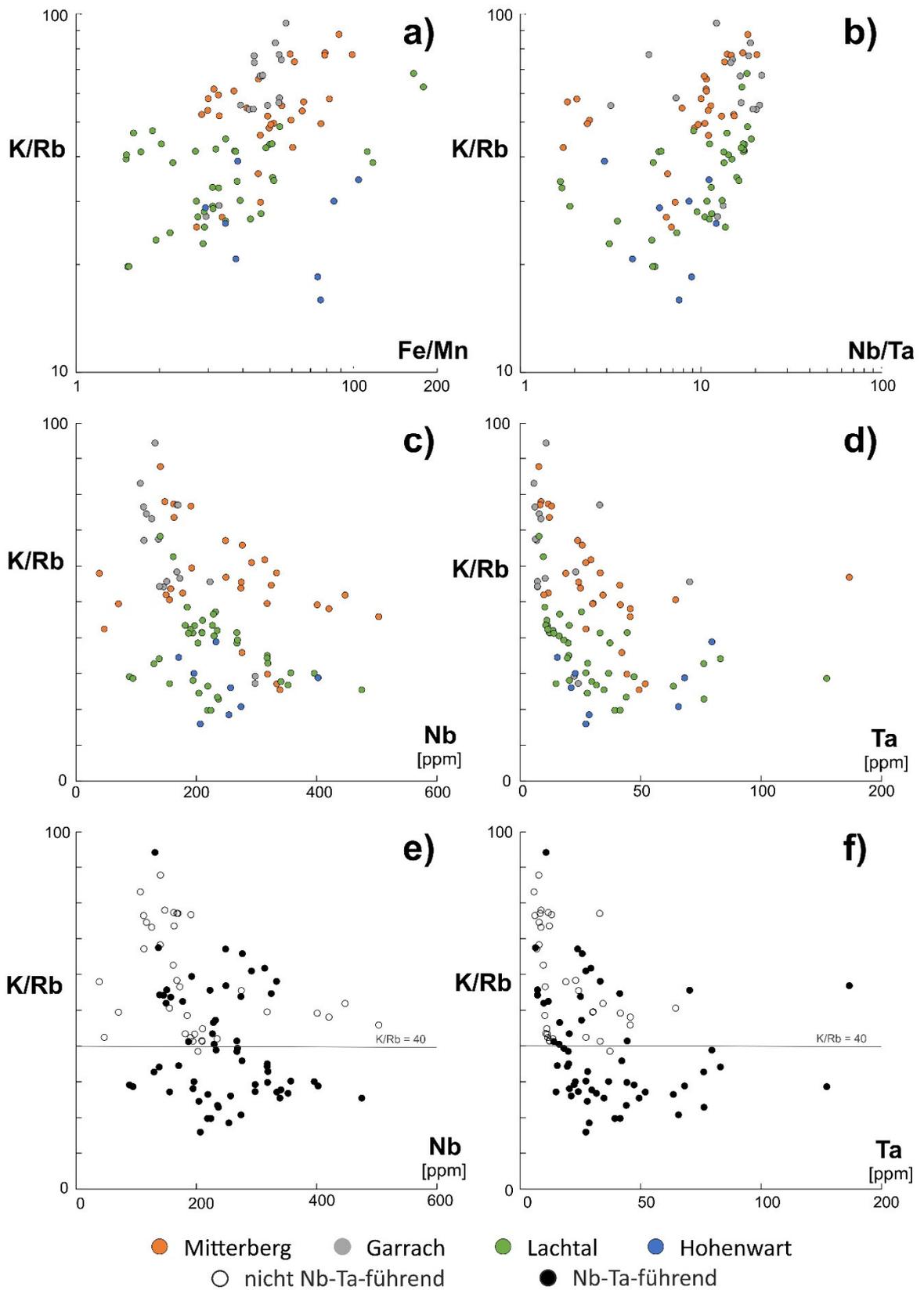


Abbildung 56: Chemische Variationen in Muskoviten aus allen vier Lokalitäten. a) und b) sind doppellogarithmisch und c) - f) nicht logarithmisch dargestellt.

## 7.4.2 Mitterberg

Vom Mitterberg wurden Muskovite in acht Proben untersucht. Davon führen vier (MB0101, MB0102, MB0203, MB0611) Nb-Ta-Mineralen und vier (MB0204, MB0406, MB0407, MB0613) nicht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 57 (Diagramme a bis f) und in Abbildung 58 (Diagramme a und b) dargestellt.

Die K-Werte liegen im Bereich 8,17 – 8,65 %, die Tl-Werte zwischen 5 und 15 ppm und die Rb-Werte im Bereich von 986 und 3210 ppm. Daraus ergeben sich K/Rb-Verhältnisse im Bereich von 25 – 88 und K/Tl-Verhältnisse von 5487 – 17953. Die Werte von Cs liegen zwischen 45 und 806 ppm, die von Li zwischen 224 und 861 ppm und die von Sn zwischen 283 und 1.045 ppm. Ein Muskovitkorn von MB01 liegt bei diesen Werten markant abseits der anderen (Außreißer). Dieses Muskovitkorn hat auch bei Ta mit 137 und 258 ppm erhöhte Werte und wird gemeinsam mit einem Ausreißerwert von 666 ppm in Abbildung 58 nicht dargestellt. Die restlichen Ta-Werte liegen zwischen 8 und 64 ppm. Die Werte für Nb schwanken über einen großen Bereich und liegen zwischen 39 und 503 ppm.

Eine generelle Trennung der vererzten von den unvererzten Proben lässt sich in keinem der Diagramme erkennen, jedoch ist die Probe die am höchsten fraktioniert ist (MB0611) vererzt und die, die am niedrigsten fraktioniert ist (MB0406), nicht. Gut voneinander abtrennen lassen sich zum Teil verschiedene Zonen innerhalb eines Aufschlusses.

Bei MB06 ist die vererzte Probe MB0611 deutlich höher fraktioniert als die unvererzte MB0613 (Abbildung 57, a). Mineralogisch unterscheiden sich die beiden Zonen im Spodumengehalt. MB0611 enthält sehr viel grobkristallinen Spodumen (Abbildung 10).

Vom Aufschluss MB01 (Nb-Ta-Mineralen) wurden zwei Proben aus derselben Zone analysiert. Die Muskovite von MB0102 stammen aus einer Pegmatitprobe, die von MB0101 stammen aus einem Muskovitpaket. Die acht Messwerte liegen in einem engen Bereich (Abbildung 57, a, b und f) und zeigen wie zu erwarten eine ähnliche, im Vergleich zu den anderen Proben, eher niedrige Fraktionierung. Mineralogisch ist auffallend, dass der im Marmor eingebettete Pegmatit keinen Spodumen enthält (Abbildung 7).

Bei MB02 zeigen sich keine deutlichen Unterschiede in der Fraktionierung der vererzten (MB0203) und der unvererzten Probe (MB0204). Ein Glimmerkorn von MB0204 ist weniger fraktioniert, das zweite jedoch gleich wie die von MB0203 (Diagramm f). Mineralogisch unterscheiden sich die beiden Proben dadurch, dass MB0204 grobkristallines Turmalin und keinen Spodumen enthält. MB0203 enthält kein Turmalin, aber etwas Spodumen (Abbildung 8).

Bei MB04 zeigen die beiden Proben einen Fraktionierungstrend (Abbildung 57 b). Beide Proben sind unvererzt. Mineralogisch ist auffallend, dass die höher fraktionierte Probe MB0407 Spodumen enthält (Abbildung 9).

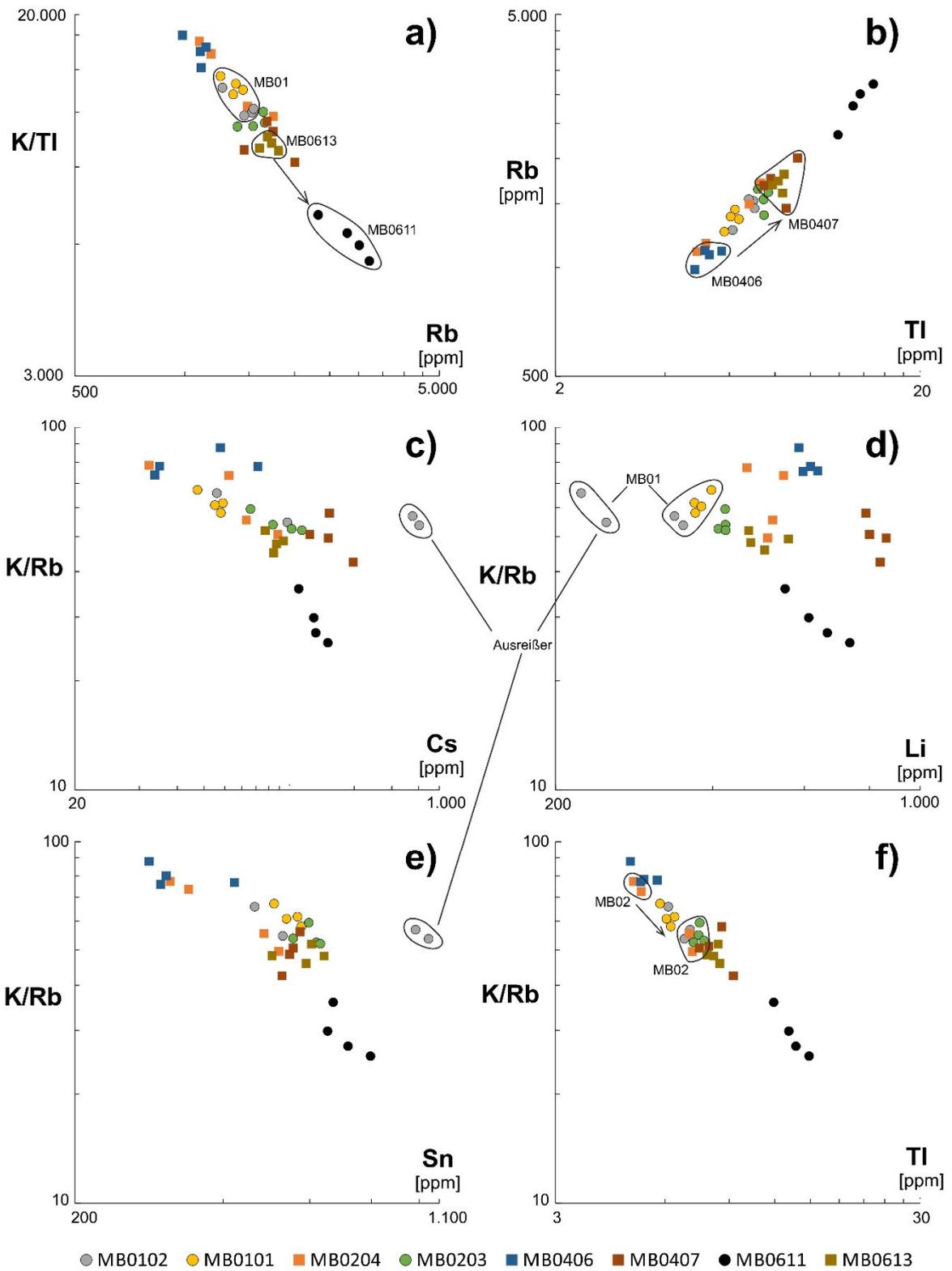


Abbildung 57: Doppellogarithmische x-y-Diagramme von Muskoviten, Mitterberg

In Abbildung 58 werden die Nb- und Ta-Werte gegen das K/Rb-Verhältnis geplottet. Allerdings weder bei Nb noch bei Ta zeigt sich eine Trennung zwischen vererzten und nicht vererzten Proben. Zum Teil verhält es sich gegengleich zum Fraktionierungstrend.

Die Nb-Werte von MB0613 als nicht vererzte Zone sind mit Werten zwischen 400 - 500 ppm höher als die Nb-Werte von der vererzten Zone MB0611 mit 250 – 350 ppm (Abbildung 58, a). Die Ta-Werte der beiden Zonen sind in etwa gleich und liegen zwischen 30 – 50 ppm.

Bei den beiden Proben von MB04 zeigt sich bei den Nb-Werten ein ähnliches Bild. Die höher fraktionierte Probe MB0407 hat niedrigere Nb-Werte als MB0406. Die Ta-Werte sind jedoch bei MB0407 generell höher. Die beiden vererzten Proben von MB01 zeigen ähnliche Nb- und Ta-Werte sowie auch die vererzte und unvererzte Probe von MB02.

Eine gewisse negative Korrelation von K/Rb ist vor allem mit Ta gegeben.

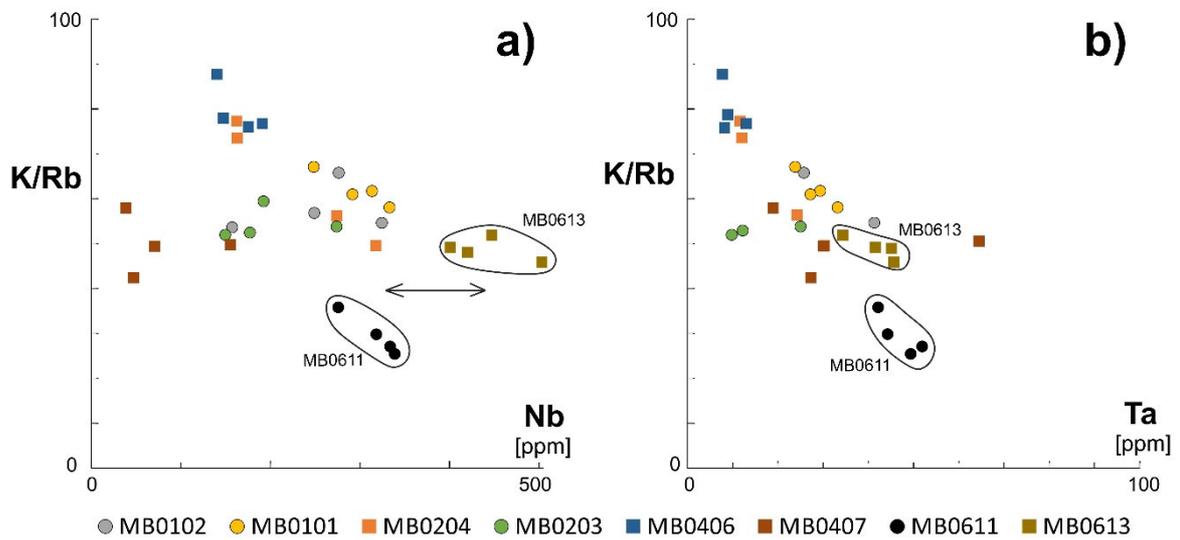


Abbildung 58: K/Rb zu Nb- bzw. Ta-Diagramme von Muskoviten, Mitterberg

### 7.4.3 Garrach

Beim Pegmatit von Garrach wurden Muskovite aus vier Proben analysiert. Zwei Proben (GA0101 und GA0209) führen Nb-Ta-Mineralen, die anderen beiden (GA0102 und GA0105) nicht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 59 und Abbildung 60 dargestellt.

Die Messwerte (Abbildung 60, a – f) sind, bis auf ein Muskovitkorn (Ausreißer), recht homogen. Die K-Werte liegen im Bereich 7,97 – 8,38 %, die TI-Werte zwischen 4 und 9 ppm und die Rb-Werte im Bereich von 864 und 1494 ppm. Der Ausreißer hat TI-Werte um 16 ppm und Rb-Werte um 2900 ppm. Daraus ergeben sich für den Ausreißer ein K/Rb-Verhältnis von ca. 28 und ein K/TI-Verhältnis von ca. 5000. Die anderen K/Rb-Verhältnisse liegen im Bereich von 54 – 94 und die K/TI-Verhältnisse zwischen 8600 und 14000. Die Cs-Werte liegen zwischen 14 und 133 ppm mit den höchsten Werten für den Ausreißer. Ähnlich verhält es sich beim Sn. Die Werte liegen zwischen 102 und 338 ppm. Beim Li hat der Ausreißer die niedrigsten Werte. Die gesamten Li-Werte liegen zwischen 476 und 963 ppm. Die Nb-Werte liegen zwischen 107 und 298 mit den höchsten Werte für den Ausreißer. Die Ta-Werte liegen im Bereich von 6 – 70 ppm, wobei der Großteil der Daten < 10 ppm ist.

Eine negative Korrelation von K/Rb mit Nb ist in Abbildung 59 a erkennbar. Der Fraktionierungsparameter K/Rb lässt sich allerdings nicht mit „vererzt“ bzw. „unvererzt“ korrelieren. Die Nb-Ta-Mineralen führende Probe GA0101 z.B. zeigt sehr variable K/Rb-Verhältnisse (ca. 30 – 90 ppm). Ein Muskovitkorn aus GA0101 zeigt eine markante höhere Fraktionierung als die anderen Werte. Mineralogisch ist GA0101 aus einer nicht spodumenführenden Randzone (Abbildung 13). Die spodumenführende Innenzone GA0209 zeigt nur eine leicht erhöhte Fraktionierung.

*Gassner (2001)* untersuchte unter anderen drei Pegmatiten am Nordabfall des Rabnitzberges (Schöcklkreuz) 3 km westlich von Garrach. Die von ihm ermittelten K/Rb-Werte liegen zwischen 42 und 84 und liegen im Bereich von den hier ermittelten Daten. Weitere gute Übereinstimmungen finden sich bei Sn mit 84 – 272 ppm und Li mit 345 – 704 ppm. Die Cs-Werte sind mit 155 – 307 ppm deutlich erhöht.

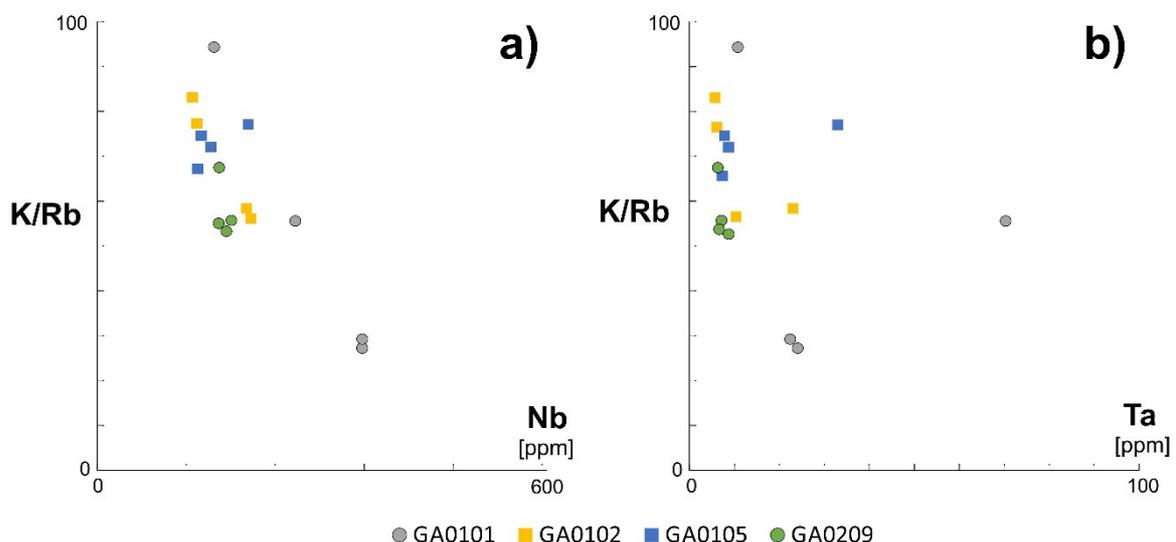


Abbildung 59: K/Rb zu Nb- bzw. Ta-Diagramme, Garrach

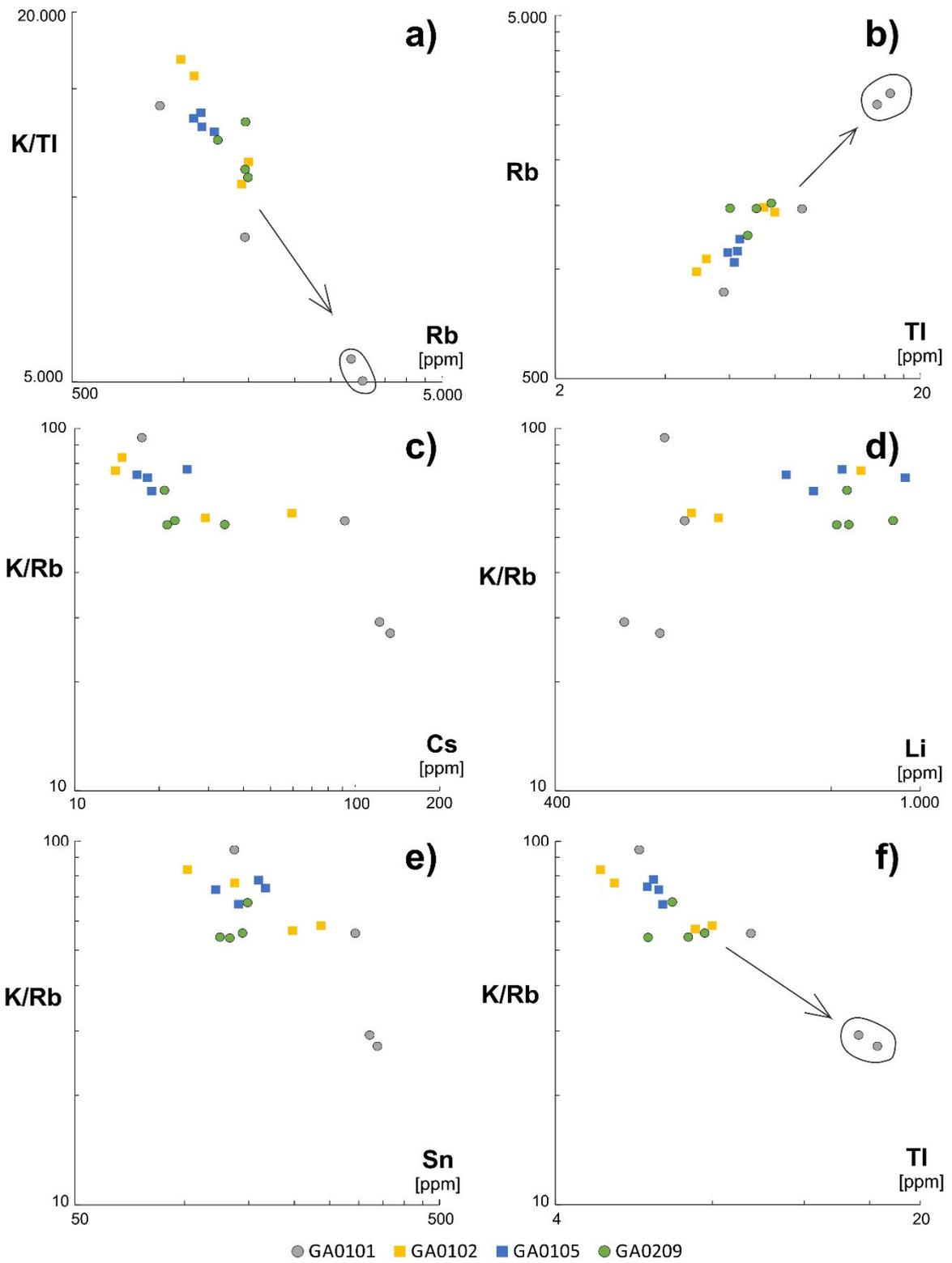


Abbildung 60: Doppellogarithmische x-y-Diagramme von Muskoviten, Garrach

#### 7.4.4 Lachtal

Vom Lachtal wurden Muskovite aus zehn Proben analysiert. Davon führen sieben (LA0101, LA0102, LA0205, LA0306, LA0407, LA0508 und LA0610) Nb-Ta-Mineralen und drei (LA0203, LA0204 und LA0609) nicht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 61 und Abbildung 62 dargestellt.

Die K-Werte liegen im Bereich 7,77 – 8,58 %, die TI-Werte zwischen 5 und 23 ppm und die Rb-Werte im Bereich von 1227 und 4281 ppm. Daraus ergeben sich K/Rb-Verhältnisse im Bereich von 20 – 68 und K/TI-Verhältnisse von 3710 – 15342. Die Werte von Cs liegen zwischen 46 und 1279 ppm, die von Li zwischen 228 und 805 ppm und die von Sn zwischen 244 und 1166 ppm. Die Werte von Nb schwanken zwischen 89 und 475 ppm und die Ta-Werte zwischen 8 und 127 ppm, wobei der Wert mit 127 ppm ein Ausreißer aus LA0205 ist und nicht dargestellt wird.

Die Proben von Lachtal zeigen im Vergleich aller vier Lokalitäten die deutlichste Abgrenzung zwischen vererzten (mit Punkten dargestellt) und unvererzten (mit Quadraten dargestellt) Proben. Wie in Abbildung 61 ersichtlich zeigt sich bei allen Diagrammen, bis auf Li, ein Trend zwischen vererzten und unvererzten Proben. Am deutlichsten ist das zu sehen beim Diagramm K/Rb gegen Sn (Abbildung 61, e), mit einer klaren Abgrenzung zwischen vererzt und unvererzt bei einem Sn-Gehalt von ca. 400 ppm. Bei den anderen Diagrammen überlappen sich die unvererzten Proben teilweise mit den beiden Proben LA0306 und LA0407. Beide Proben stammen aus Pegmatitrollstücken und enthalten feinkörnigen Spodumen. Deutlich zu erkennen sind die Fraktionierungstrends auch innerhalb einzelner Aufschlüsse.

Beim Aufschluss LA02 zeigt sich ein deutlicher Trend zwischen den beiden unvererzten Proben (LA0203 und LA0204) zu der vererzten Probe (LA0205) (Abbildung 61, b und e). Die beiden Proben LA0203 und LA0204 stellen nicht spodumenführende Kontaktzonen des Pegmatits zum Glimmerschiefer dar. Dagegen enthält die vererzte interne Zone LA0205 viel grobkristallines Spodumen (Abbildung 16).

Ein ähnliches, aber aufgrund der Streuung der einzelnen Werte nicht so deutliches Bild, zeigt sich beim Pegmatitrollstück LA06 (Abbildung 15). Die Probe LA0609 aus der turmalinreichen Kontaktzone ist niedriger fraktioniert als die Probe LA0610 aus der leicht spodumenführenden Nebenzone (Abbildung 61, a).

Auch die beiden vererzten Proben aus dem Aufschluss LA01 zeigen eine Fraktionierung. LA0101 ist höher fraktioniert als LA0102. Laut MLA (Tabelle 6) ist LA0101 mit 7,2 % stärker vererzt als LA0102 mit 1,1%. Beide Proben enthalten viel grobkörniges Spodumen.

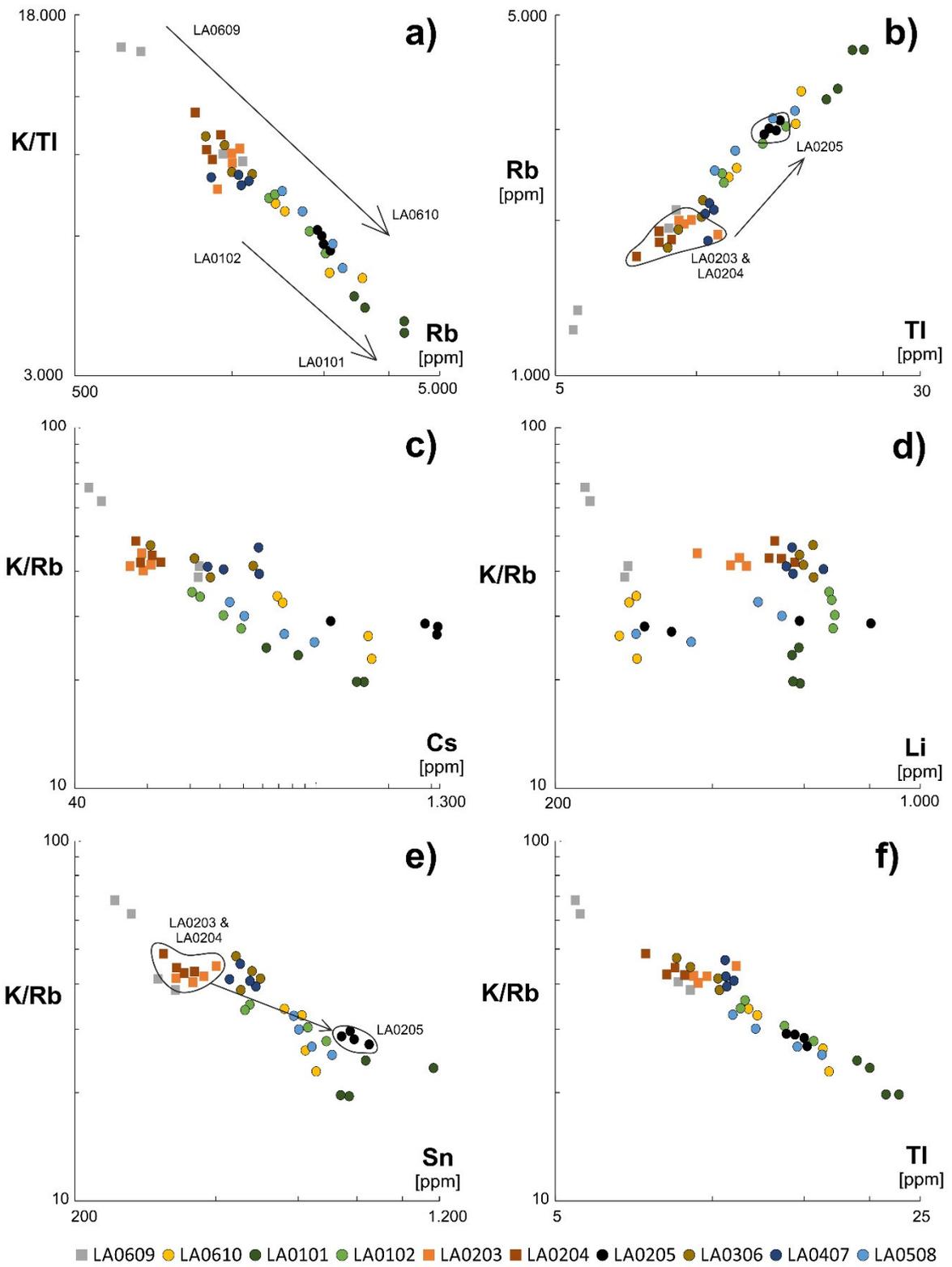


Abbildung 61: Doppellogarithmische x-y-Diagramme von Muskoviten, Lachtal

Fraktionierungstrends spiegeln sich in den K/Rb gegen Nb- und Ta-Diagrammen (Abbildung 62) nur bedingt wieder. Die Ta-Werte der unverzerten Proben sind, abgesehen von zwei Ausreißern in LA0609, generell niedriger (um 10 ppm) und geringer fraktioniert. LA0610 hat mit 60 - 85 ppm die höchsten Ta-Werte (Abbildung 62, b). Die anderen Werte liegen zwischen 10 und 50 ppm. Noch höhere Ta-Gehalte (ca. 60 - 85 ppm) sind nur in LA0610 zu finden, wobei diese Probe eher niedrige Nb-Gehalte aufweist (Abbildung 62 a, b). Die daraus resultierenden  $< Nb/Ta$  Werte spiegeln, in Kombination mit den sehr niedrigen K/Rb-Werten dieser Probe, eine stärkere Fraktionierung wider.

Die Nb-Werte der unverzerten Proben liegen im Bereich von 140 und 230 ppm und überlappen sich mit den Werten der verzerzten Proben. Bei LA02 zeigt sich ein gegengleicher Trend. Die verzerzte Probe LA0205 hat mit Nb-Werten von 89 – 194 ppm eher niedrigere Werte als die unverzerten LA0203 und LA0204 mit Werten zwischen 181 – 230 ppm (Abbildung 62, a).

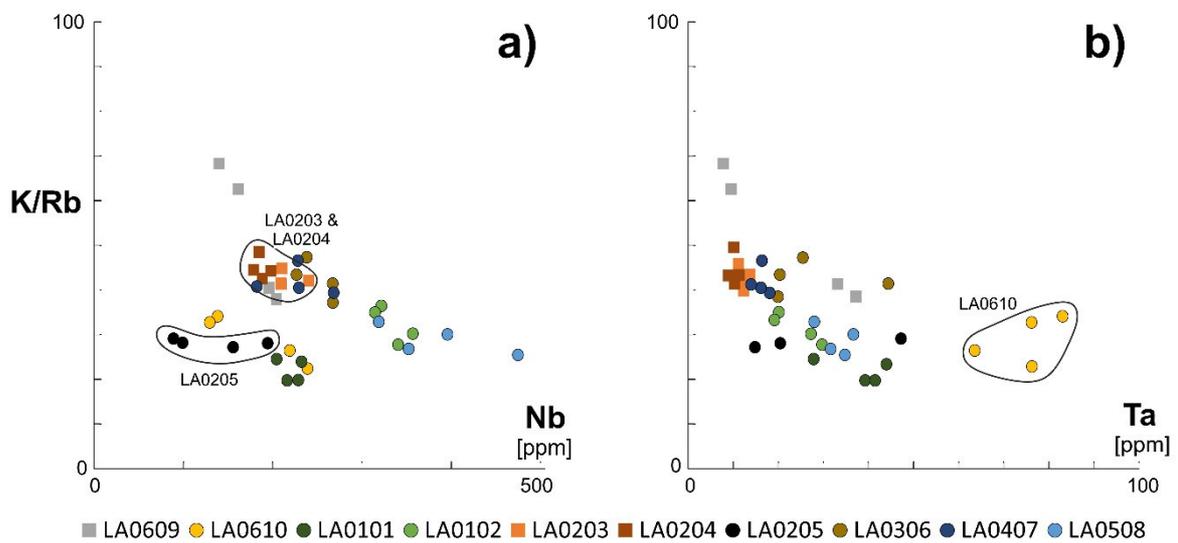


Abbildung 62: Nicht logarithmische K/Rb zu Nb- und Ta-Diagramme von Lachtal

### 7.4.5 Hohenwart

Von der Lokalität Hohenwart konnten nur aus zwei Proben Muskovite für die Analyse gewonnen werden. Die beiden Proben sind vererzt und stammen aus den Zonen HW0415 und HW0416 (Abbildung 21). Die anderen Zonen der verschiedenen Aufschlüsse führen keinen oder nur sehr wenig Muskovit. Die Ergebnisse sind in Abbildung 63 und Abbildung 64 dargestellt.

Die K-Werte liegen im Bereich 8,07 – 8,30 %, die TI-Werte zwischen 12 und 27 ppm und die Rb-Werte im Bereich von 2137 und 5065 ppm. Daraus ergeben sich K/Rb-Verhältnisse im Bereich von 16 – 39 und K/TI-Verhältnisse von 3035 – 7000. Die Werte von Cs liegen zwischen 158 und 830 ppm, die von Li zwischen 522 und 1.181 ppm und die von Sn zwischen 551 und 1040 ppm. Die Nb-Gehalte liegen im Bereich von 170 – 400 ppm und die Ta-Gehalte zwischen 15 - 80 ppm.

Generell zeigen die Muskovite von Hohenwart die höchste Fraktionierung der vier untersuchten Lokalitäten hinsichtlich K/Rb bzw. K/TI. Anhand der Nb- und Ta-Werte lässt sich dieser Trend allerdings nicht bestätigen. Sie liegen eher im Durchschnitt der vier Lokalitäten.

*Senzenberger (2001)* untersuchte im Bereich des Hohenwart mehrere Pegmatite. Die von ihm ermittelten K/Rb-Werte von Lokalität 1 (in dieser Arbeit als HW04 bezeichnet) liegen bis auf einen Ausreißer mit 91 im Bereich von 20 – 40 und passen somit gut zu den hier ermittelten K/Rb-Werten. Die K/Rb-Werte der anderen Aufschlüsse am Hohenwart liegen zwischen 21 und 164 und liegen tendenziell deutlich über den Daten aus dieser Arbeit. Die Werte für Li, Sn und Cs von *Senzenberger (2001)* variieren recht stark. Li liegt zwischen 52 und 2440 ppm, Sn zwischen 65 – 1400 ppm und die Cs-Werte liegen bei 110 – 1869 ppm.

Aufgrund des Fehlens von Muskoviten beim Hohenwart, würde sich eine Analyse der Kalifeldspäte für Fraktionierungstrends anbieten.

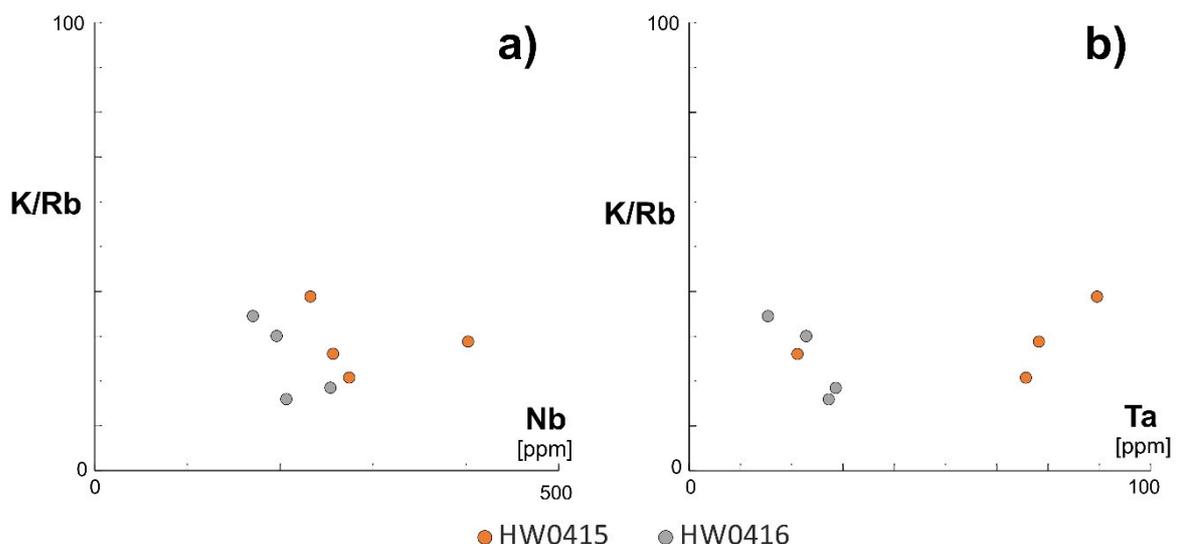


Abbildung 63: K/Rb zu Nb- bzw. Ta-Diagramme, Hohenwart

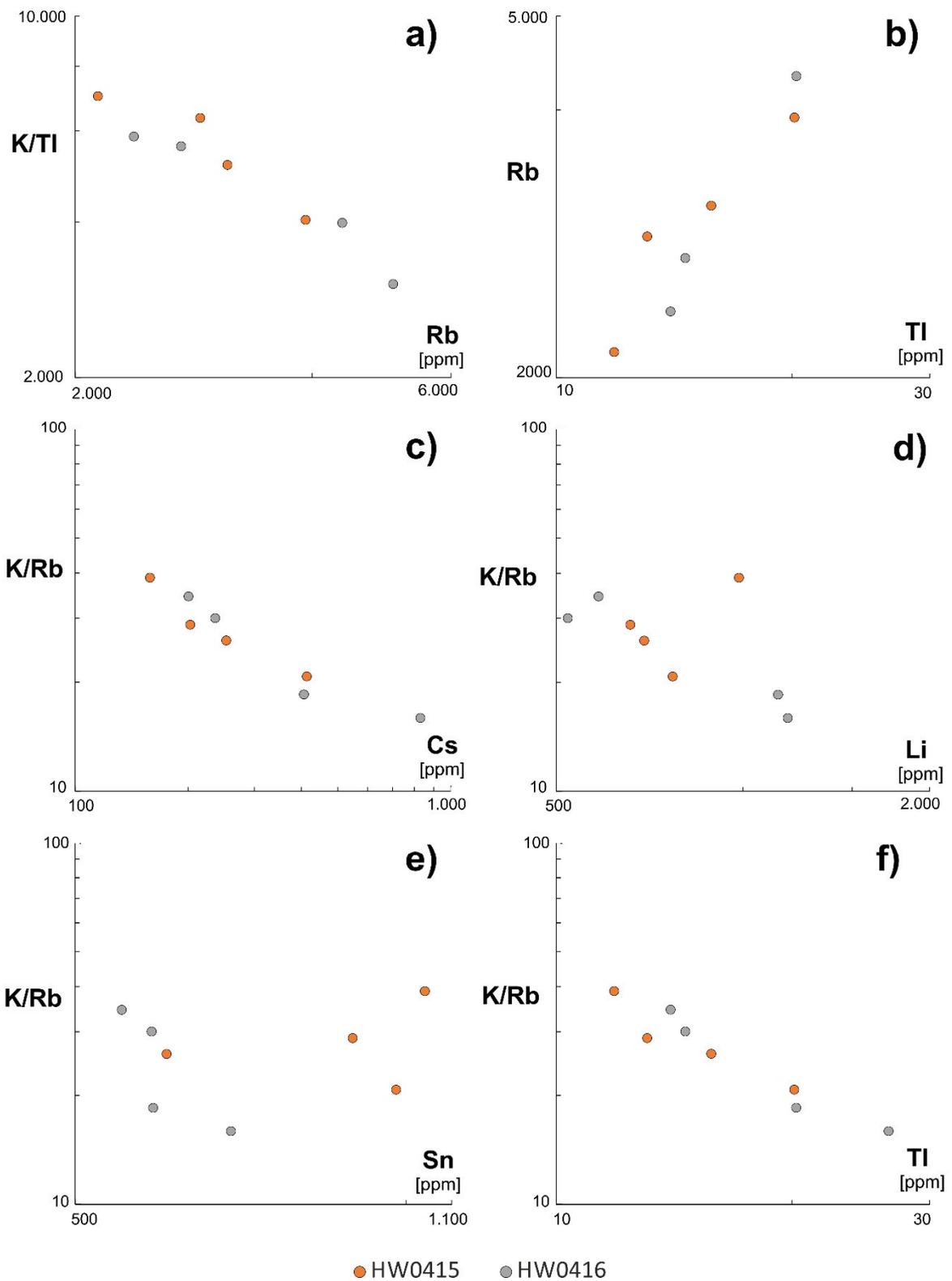


Abbildung 64: Doppellogarithmische x-y-Diagramme von Muskoviten, Hohenwart

## 8 Diskussion der Ergebnisse

### 8.1 Aufbereitung - Mineralseparation

Die Zerkleinerung der Pegmatitproben funktioniert mit beiden Methoden, dem EPD und dem Backenbrecher. Der Zeitaufwand für die Zerkleinerung mittels Backenbrecher ist, speziell bei größeren Probemengen und sehr zähen Gesteinen, geringer.

Bei der Separation der Schwerminerale für mineralogische Folgeanalysen ist die Waschpfanne die effektivste Methode. Mit dem geringsten Zeitaufwand erreicht man akzeptable Ergebnisse. Zwar finden sich im Schwermineralkonzentrat immer noch wechselnde Mengen an Mineralen der Leichtfraktion (Quarz, Feldspäte; siehe Kapitel 7.1), aber die Nb-Ta-Mineralen werden ausreichend angereichert. Die Schwerentrennung mit NAPW ergibt nur ca. 10-20% höhere Ausbringung bei der Schwermineralfraktion als das Waschen mit der Pfanne. Die Verwendung von NAPW Schwereflüssigkeit zur Abtrennung ist aufwendig und führt mit einer Dichte von  $2,95 \text{ g / cm}^3$  zu den schlechtesten Ergebnissen. Zwar kann die Dichte der NAPW Schwereflüssigkeit auch für höhere Dichten eingestellt werden, da die Viskosität der Lösung allerdings damit exponentiell zunimmt, ist das Arbeiten mit Lösungen höherer Dichten unpraktikabel. Häufige gesteinsbildende Minerale höherer Dichte wie Granat oder Turmalin lassen sich damit nicht trennen. Der Frantz-Magnetscheider ist zur Abtrennung der Nb-Ta-Mineralen führenden Fraktion von dem unmagnetischen Spodumen sehr effektiv. Die weitere magnetische Trennung von Columbit, Turmalin und Granat ist stark von deren Zusammensetzung abhängig und variiert zwischen den Zonen und Lokalitäten.

Die zeitsparendste Methode zur Separation der SM-Fraktion ist die Zerkleinerung mittels Backenbrecher und die Konzentration durch die Verwendung Waschpfanne. Der Großteil der Proben wurde daher so aufbereitet.

## 8.2 Mineral Liberation Analysis (MLA) und Elektronenstrahlmikrosondenanalyse (EMPA) der Columbite

Die Analysen der Anschliffe (Körnerpräparate der SM-Fraktion) mittels MLA geben einen guten auch quantitativen Überblick über die unterschiedlichen Nb-Ta-Mineralen und deren Begleitminerale in einer Probe. Die chemische Analyse mittels EMPA wird vereinfacht, da man die zu messenden Mineralkörner mit den aus der MLA erzeugten Abbildungen (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38) leicht und schnell findet. Die MLA liefert auch einen ersten Überblick über den Chemismus der Columbit-Tantalitgruppenminerale und das Vorhandensein anderer Nb-Ta-Phasen. Hier sei angemerkt, dass das MLA System an der BGR Hannover, an dem die Messungen erfolgten über einen langen Zeitraum für die Analysen von Nb-Ta-Mineralen optimiert wurde.

Im Vergleich zur EMPA, bei der zeitlich bedingt nur wenige ausgewählte Körner (ca. 3 – 10 pro Anschliff) gemessen werden, wird mittels MLA der ganze Anschliff gescannt. Diskrepanzen sind erkennbar bei den Proben aus Mitterberg und Hohenwart. Bei den EMPA von Mitterberg (Abbildung 45) lag der Großteil der Messdaten im Fe-Columbit – und Fe-Tantalitfeld, wohingegen bei der MLA ca.  $\frac{3}{4}$  der Nb-Ta-Mineralen Mn-Columbite und Mn-Tantalite sind (Abbildung 39). Beim Hohenwart liegen einige Messpunkte im Fe-Tantalitfeld (Abbildung 52), wohingegen bei der MLA mehrheitlich Mn-Tantalite ausgewiesen werden (Abbildung 43).

Die EMPA Messdaten ergeben bei den meisten Proben einen Trend mit wechselnden Ta/Nb-Verhältnissen bei eher gleichbleibenden Fe/Mn-Verhältnissen, aber einheitlich ist dieser Trend nicht. Es können auch keine einheitlichen Fraktionierungstrends vom Kern zum Rand beobachtet werden. Neben Körnern mit einfachem Zonarbau und einer eindeutigen Abnahme des Nb/Ta-Verhältnisses vom Kern zum Rand, gibt es auch Beispiele mit einer Zunahme von Nb/Ta zum Rand hin. Des Weiteren gibt es auch Körner mit komplexem oszillatorischem bzw. fleckigem (engl. patchy) Zonarbau. In letzterem lassen sich auch Verdrängungsstrukturen beobachten und die zeitlichen Beziehungen der Bildung der Zonen sind nicht eindeutig festzulegen. Generell ist die chemische Zusammensetzung der Columbite und Tantalite in den einzelnen Proben variabel. Einzelne Zonen, wie MB0611 und LA0101, wo Columbite mit geringer chemischer Variabilität gemessen wurden sind die Ausnahme.

In Abbildung 65 sind die Daten von Columbiten und Tantaliten dieser Arbeit gemeinsam mit Literaturdaten von Pusterwald, der Weinebene und der Hohen Kreuzspitze im Passeiertal (*Mali 2004, Melcher et al. 2010, Schneider 2013*) dargestellt. Die Variation im Ta/(Ta+Nb)-Verhältnis der vier untersuchten Lokalitäten ist ähnlich wie bei der Hohen Kreuzspitze und von Pusterwald. Beim Mn/(Mn+Fe)-Verhältnis überschneiden sich die Daten dieser Studie mit jenen von der Weinebene bei 30 – 40% und von Pusterwald bei 60 – 70%. Die neuen Daten dieser Studie belegen, dass es bei den Columbiten-Tantaliten der Spodumenpegmatite im Koralpe-Wölz Deckensystem ein Kontinuum hinsichtlich der Mn/Fe-Verhältnisse gibt. Viele der neuen Analysen plotten bei intermediären Mn/Fe Werten (~40 - ~60%, Abbildung 65). Die Columbite der Hohen Kreuzspitze haben deutlich niedrigere Mn/(Mn+Fe)-Verhältnisse.

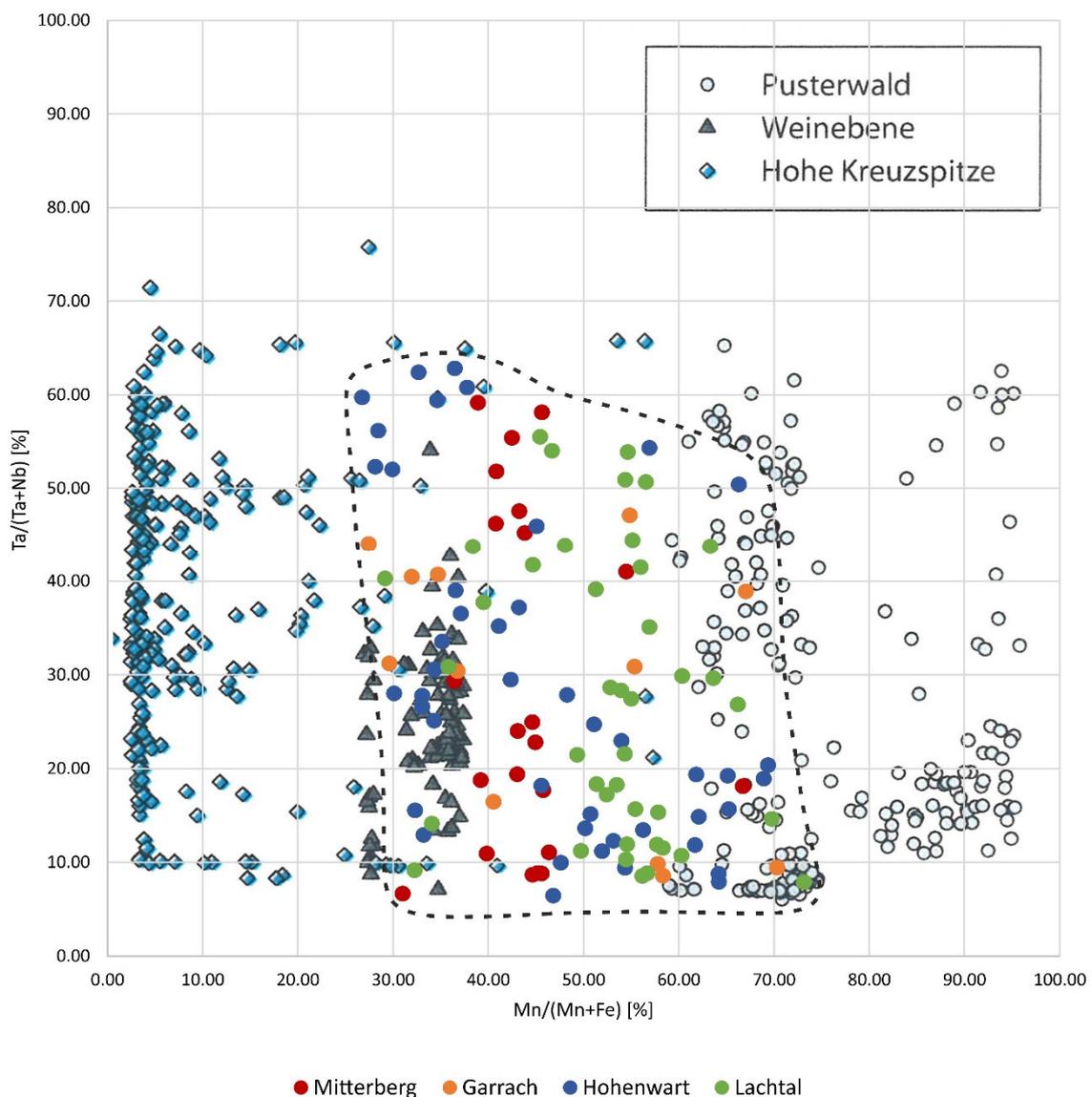


Abbildung 65: EMPA-Daten von Columbit-Tantalit von dieser Studie geplottet gemeinsam mit Daten von Pusterwald, Weinebene und der Hohen Kreuzspitze. Der Datensatz dieser Arbeit wurde strichliert markiert. Die Literaturdaten stammen von *Mali (2004), Melcher et al. (2010) und Schneider (2013)*.

### 8.3 Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite

Die Vorgangsweise bei den LA-ICP-MS Analysen, je zwei Messpunkte an je zwei Muskoviten je Probe, führte zu brauchbaren Ergebnissen. Die vier Messwerte liegen meistens in einem Zusammensetzungsbereich welcher sich von anderen Proben abgrenzen lässt. Einzelne Ausreißer kommen allerdings vor. Dabei handelt es sich wahrscheinlich oft um die Messung von Mikroeinschlüssen im Muskovit. Durch die Eindringtiefe des Lasers können solche Einschlüsse mitgemessen werden, sind aber mikroskopisch meist nicht erkennbar.

Die besten Korrelationen und die deutlichsten Fraktionierungstrends der Pegmatite ergeben sich bei Diagrammen mit den Elementen Kalium, Thallium und Rubidium in unterschiedlichen Kombinationen. Die Messwerte aller vier Lokalitäten zeigen ähnliche Trends und variable Streuung dieser Elemente bzw. Elementverhältnisse (Abbildung 55).

K/Rb oder K/Tl Werte widerspiegeln sehr gut die unterschiedliche Fraktionierung der Pegmatite unterschiedlicher Lokalitäten oder auch Zonen einer Lokalität. Unter Anwendung dieser Elementverhältnisse sind die Pegmatite von Garrach die am geringsten fraktionierten. Nb-Ta-Minerale sind dort äußerst selten bzw. fehlen überhaupt. Mitterberg zeigt eine ähnliche Fraktionierung in K/Rb und K/Tl. Die Muskovite von dort sind allerdings reicher an Cs und auch Sn. Nb-Ta-Minerale treten untergeordnet auf. Hohenwart zeigt die stärkste Fraktionierung i.e. niedrigste K/Rb, K/Tl aber die höchsten absoluten Konzentrationen von Rb, Tl, Cs und Sn. Proben von Lachtal sind ähnlich hoch fraktioniert und angereichert, zeigen allerdings eine größere Streubreite und Überlappung mit geringer fraktionierten Pegmatiten von Mitterberg und Garrach. Nb-Ta-Minerale sind auch mengenmäßig am häufigsten in Hohenwart und Lachtal, wo die am stärksten fraktionierten Pegmatite zu finden sind.

Innerhalb einzelner Aufschlüsse zeigen sich deutliche Fraktionierungstrends zwischen den unterschiedlichen Zonen. Bei MB06 und LA02 sind jeweils die vererzten Bereiche höher fraktioniert als die unvererzten. Im Vergleich der einzelnen Lokalitäten zeigt Lachtal eine relativ klare Entwicklung von nieder fraktionierten Zonen (unvererzt) zu höher fraktionierten Zonen (vererzt) (Abbildung 61). Die Proben aus Mitterberg und Garrach haben größere Überlappungsbereiche. Bei allen untersuchten Proben lässt sich erkennen, dass bei einem K/Rb-Verhältnis von  $< 40$ , bis auf eine Probe (LA0609), alle vererzt sind. Ab K/Rb ca.  $40 - 70$  gibt es eine deutliche Überlappung zwischen vererzten und unvererzten Proben. In Proben mit K/Rb  $> 70$  treten fast nie Nb-Ta-Minerale auf (Abbildung 56, e und f). Proben aus Zonen mit grobkristallinem Spodumen sind meist auch höher fraktioniert und sind in der Regel vererzt. Es gibt aber auch vererzte Proben welche keinen Spodumen enthalten.

Die Nb- und Ta-Gehalte der Muskovite lassen bei den untersuchten Proben keine eindeutigen Rückschlüsse auf das Auftreten von Nb-Ta-Mineralen zu. Die Schwankungsbreite ist, auch innerhalb einzelner Proben, sehr hoch. So treten am Hohenwart zwar Muskovite mit  $> 50$  ppm Ta auf - Gehalte, die in unvererzten Proben sonst nicht zu finden sind – aber es gibt auch viele Analysen  $< 50$  ppm Ta. Höhere Nb- bzw. Ta-Gehalte in Muskoviten sind auch immer wieder in unvererzten Proben zu finden; z.B. Mitterberg.

Eine Einteilung der Pegmatite der vier Lokalitäten in gängige Klassifikationssysteme wie von *Cerny & Ercit (2005)* oder *London (2008)* vorgeschlagen ist schwierig. Es ist grundsätzlich eine offene Frage, ob diese Pegmatite anatektischen Ursprungs sind oder von fraktionierten Restschmelzen einer Granitintrusion abstammen. Neuere Untersuchungen bearbeiten die Pegmatite mit Hinblick auf eine anatektische Entstehung (*Schneider 2013, Schuster et al. 2014*). Für ein anatektisches Genesemodell sprechen die generell konkordante Lagerung und vor allem das Fehlen von permischen granitischen Intrusionen in diesen Anteilen des Ostalpinen Kristallin.

Bei dem Vergleich der geochemischen Daten der Muskovite in Abbildung 55 zeigen sich in Diagramm b ähnliche R/Tl-Verhältnisse wie bei den Pegmatiten von Altai und Kenticha. Die Pegmatite von Tanco und Kola liegen bei niedrigeren Rb/Tl-Werten. Altai und Kenticha werden von *Cerny & Ercit (2005)* und *Küstner (2009)* als Spodumen-Subtyp der Pegmatite der Seltenen Elementklasse gedeutet. Tanco ist auch als ein Pegmatit der Seltenen Elementklasse klassifiziert, wird aber als Petalit-Subtyp geführt. Die generell niedrigeren Rb- und Tl-Werte der ostalpinen Spodumenpegmatite könnte ein Hinweis sein, der auf eine anatektische Entstehung hindeutet. Die Anreicherung von Rubidium und Thallium erfolgt generell in größerem Maße in Pegmatiten die aus Graniten hervorgehen und nimmt dort jeweils durch Fraktionierung mit Entfernung vom Pluton zu (*Cerny et al. 1985*).

Im Vergleich mit den Werten von *Cerny & Burt (1984)* liegen die Elementverhältnisse und -konzentrationen der in dieser Arbeit untersuchten Pegmatite im Übergangsbereich zwischen Pegmatiten der Muskovitklasse und der Seltenen Elementklasse. Eine gute Übereinstimmung gibt es in Abbildung 55 in Diagramm f mit dem Beryll-Columbit – Feld, wobei auffällig ist, dass bei den untersuchten Lokalitäten kein Beryll gefunden wurde und diese Pegmatite daher schwerlich diesem Typ zugerechnet werden können.

Für eine Zuordnung der Pegmatite zum Spodumen-Subtyp der komplexen Seltenen Elementklasse gemäß *Cerny & Ercit (2005)* und der damit verbundenen magmatischen Entstehung der Pegmatite spricht die Mineralvergesellschaftung von Spodumen und Columbit-Tantalit sowie die Ähnlichkeiten der Rb/Tl-Verhältnisse mit jenen von Kenticha und Altai.

Die vier in dieser Arbeit untersuchten Pegmatite bilden nur eine kleine Auswahl der bekannten Pegmatite in den Ostalpen (Abbildung 5). Durch weitere Untersuchungen könnte man die Abhängigkeit zwischen der Fraktionierung von Pegmatiten und deren Nb-Ta-Vererzungen weiter eingrenzen. Zusätzlich zur geochemischen Analyse der Muskovite würde sich die Spurenelementanalyse der Feldspäte, allen voran der Kalifeldspäte anbieten.

## 9 Literaturverzeichnis

ADELSMAYR, T. & AHRER, S., 2010: Kartierbericht zur Kartierungsübung im Gebiet von St. Radegund / Steiermark. Unveröff. Arb., Montanuniversität Leoben.

AHRER, S. & RAITH, J.G., 2014: Comparing beneficiation methods for the concentration of Nb-Ta-minerals in the heavy minerals fraction of pegmatites from the Eastern Alps. Mitt. Österr. Miner. Ges. 160, in Druck.

ATENCIO, D., DE ANDRADE, M.B., CHRISTY, A.G., GIÈRE, R. & KARTASHEV, P.M., 2010: The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. Can. Mineral. 48, 673 – 698.

CERNY, P. & BURT, D., 1984: Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of micas in granite pegmatites. – In: Bailey, S. (Ed.): Micas. – Reviews in Mineralogy 13, 257-292.

ČERNY, P., MEINTZER, R.E., ANDERSON, A.J., 1985: Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms. Can. Mineral. 23, 381–421.

ČERNY, P., & ERCIT, S.T., 2005: The classification of granitic pegmatites revisited. The Can. Mineral. 43, 2005 – 2026.

ERTL, A., MALI, H., SCHUSTER, R., KÖRNER W., HUGHES J.M., BRANDSTÄTTER F., & TILLMANN E., 2009: Li-bearing, disordered Mg-rich tourmaline from a pegmatite-marble contact in the Austroalpine basement units (Styria, Austria). Miner. Petrol. 99, 89 – 104.

FANDRICH, R., GU, Y., BURROWS, D., MOELLER, K., 2006: Modern SEM-based mineral liberation analysis. Int. J. Miner. Process. 87, 310 – 320.

FROITZHEIM, N., PLASIENKA, D., & SCHUSTER, R., 2008: Alpine tectonics of the Alps and western Carpathians. In: McCann, T., (Ed): The geology of Central Europe. Volume 2: Mesozoic and Cenozoic. Geological Society of London. 1141–1232, London.

GASSNER, M., 2001: Geochemische und petrologische Untersuchungen an ausgewählten steirischen Pegmatiten (Koralpe, Stubalpe, Kristallin von St. Radegund, Anger-Kristallin).- Unveröffent. Dipl. Arb., Montanuniversität Leoben.

GÖD, R., 1989: The spodumene deposit at "Weinebene", Koralpe, Austria.- Mineral. Deposita 24, 270-278, Wien.

GU, Y., 2003: Automated scanning electron microscope based mineral liberation analysis. J. Min. Mat. Charact. Eng. 2, 33 – 41.

HABLER, G. & THÖNI, M., 1998: New petrological and structural data from the eclogite bearing polymetamorphic eastern Austroalpine basement nappes (NW Saualpe, Austria) – 7. Symposium Tektonik – Strukturgeologie – Kristallgeologie, S. 86 – 88, Freiberg.

KÜSTER, D., ROMER, R.L., TOLESSA, D., ZERIHUN, D., BHEEMALINGESWARA, K., MELCHER, F., & OBERTHÜR, T., 2009: The Kenticha rare-element pegmatite, Ethiopia: internal differentiation, U-Pb age and Ta mineralization. Miner Deposita 44(7), 723 - 750.

LONDON, D., 2008: Pegmatites. The Canadian Mineralogist – Special Edition 10. Quebec.

MALI H., 2004: Die Spodumenpegmatite von Bretstein und Pusterwald (Wölzer Tauern, Steiermark, Österreich). Joannea – Mineralogie 2, 5 – 53, Graz.

MALI H., 2012: Spodumene pegmatites of the Eastern Alps. Unpubl. Bericht Montanuniversität Leoben, 61 S.

MELCHER, F., GÖD, R., KONZETT, J., MALI, H. (2010). Niobium-tantalum-tin-bearing minerals in pegmatites of the Eastern Alps: case studies. In: Pangeo 2010 Abstracts. J. Alpine Geol.: 178.

NEUBAUER, F., 1988: Bau und Entwicklungsgeschichte des Rennfeld- Mugel- und des Gleinalm-Kristallins (Ostalpen). - Abh. Geol. B.-A., 42, S. 1-127, Wien.

NEUBAUER, F., HOINKES, G., & SASSI, F. 1999: Pre – mesozoic geology of the middle and upper Austroalpine metamorphic basement east of the Tauern window. Alcapa Field Guide, 17 – 36, Graz.

RUDASHEVSKY, N.S., BURAKOV, B.E., LUPAL, S.D., THALHAMMER, O.A.R., & SAINI-EIDUKAT, B., 1995: Liberation of accessory minerals from various rock types by electric pulse disintegration – method and applications. *Transact. Institution Mining Metallurgy* 104: C25 – C29.

SENZENBERGER, D., 2001: Zonarbau und geochemische Charakteristik von Pegmatiten des Hohenwart (Wölzer Tauern, Steiermark).- unveröff. Dipl. Arb., Leoben.

SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E., & SCHUSTER, R., 2004, Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen: *Eclogae Geol. Helvet.*, Vol. 97, 93–117.

SCHNEIDER, T., 2013: Petrologie und Strukturgeologie eines Nb-Ta-Sn-führenden Pegmatits im Austroalpin des Texel-Komplexes. Unveröff. Dipl. Arb., Innsbruck

SCHUSTER, R., SCHARBERT, S., ABART, R. & FRANK, W., 2001: Permo-Triassic extension and related HT/LP metamorphism in the Austroalpine – Southalpine realm. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.* 45, 111–141.

SCHUSTER, R., & STÜWE, K., 2008: Permian metamorphic event in the Alps: *Geology* Vol. 36, 603–606.

SCHUSTER, R., PETRAKAKIS, K., ILICKOVIC, T., HEINRICH, M., ABART, R., MELCHER, & HOBIGER, G., 2014: Genesis of spodumene-bearing pegmatites within the austroalpine unit (Eastern Alps): Anatectic vs. magmatic derivation. *Mitt. Österr. Miner. Ges.* 160, in Druck.

STAMPFLI, G.M., & BOREL, G.D., 2004: The TRANSMED transects in space and time; constraints on the paleotectonic evolution of the Mediterranean domain. In Cavazza, W.R., et al., (Eds.), *The TRANSMED atlas. The Mediterranean region from crust to mantle: Geological and geophysical framework*: p. 53–80, Springer, Berlin.

STÜWE, K., & SCHUSTER, R., 2010, Initiation of subduction in the Alps: Continent or ocean?: *Geology* Vol. 38, 175 – 178.

THÖNI, M., 1999: A review of geochronological data from the Eastern Alps. *Schweizerische Mineral. Petrogr. Mitt.* 79, 209-230.

THÖNI, M., & MILLER, C., 2000: Permo-Triassic pegmatites in the eo-Alpine eclogite-facies Koralpe complex, Austria: age and magma source constraints from mineral chemical, Rb–Sr and Sm–Nd isotope data. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 80, 169–186.

THÖNI, M., MILLER, C., ZANETTI, A., HABLER, G., GOESSLER, W., 2008: Sm–Nd isotope systematics of high-REE accessory minerals and major phases: ID–TIMS, LA-ICP-MS and EPMA data constrain multiple Permian–Triassic pegmatite emplacement in the Koralpe, Eastern Alps. *Chem. Geol.* 254, 216–237.

TOLLMANN, A., 1977, *Geologie von Österreich. Band 1. Die Zentralalpen*: Deuticke, 766 Seiten, Wien.

## 10 Anhänge

LOKALITÄT	AUFSCHLUSS	GPS		Proben- bezeichnung	Dünnschliffe	Anschliffe	Nb-Ta-Minerale im Anschliff oder Dünnschliff	Anschliffe analysiert mittels MLA	Muskovite mittels LA-ICP-MS analysiert	Bemerkung
		N	E							
		47°	MB u. GA 15° HW u. LA 14°							
MITTERBERG	MB01	14,014'	12,207'	MB-01-01					x	Muskovit
				MB-01-02	x	x	x	x	x	
	MB02	14,016'	12,182'	MB-02-03	x	x	x	x	x	
				MB-02-04	x	x				x
				MB-02-05						
	MB04	14,015'	12,180'	MB-04-06	x	x				x
				MB-04-07	x	x				x
				MB-04-08						
	MB06	14,008'	12,160'	MB-06-09		x				
				MB-06-10						
MB-06-11				x	x	x	x	x		
MB-06-12										Granatamphibolit
				MB-06-13	x	x				x
GARRACH	GA01	13,045'	32,070'	GA-01-01	x	x	x	x	x	
				GA-01-02	x	x				x
				GA-01-03	x	x	x	x		
				GA-01-04	x	x				
				GA-01-05		x				x
	GA02			GA-01-06	x	x	x	x		
				GA-02-07	x	x	x	x		
				GA-02-08		x	x	x		
				GA-02-09	x	x	x	x	x	x
LACHTAL	LA01	16,035'	21,293'	LA-01-01	x	x	x	x	x	
				LA-01-02	x	x	x	x	x	
	LA02	16,132'	21,441'	LA-02-03	x	x				x
				LA-02-04	x	x				x
				LA-02-05	x	x	x	x	x	
	LA03	16,058'	21,511'	LA-03-06	x	x	x	x	x	
	LA04	16,098'	21,486'	LA-04-07		x	x	x	x	
	LA05	16,117'	21,458'	LA-05-08		x	x	x	x	
	LA06	15,977'	21,518'	LA-06-09	x	x				x
				LA-06-10	x	x	x	x	x	
HOHENWART	HW01	14,426'	19,963'	HW-01-01	x	x	x	x		
				HW-01-02	x	x	x	x		
	HW02	19,752'	14,177'	HW-02-03		x	x	x		
				HW-02-04		x	x	x		
				HW-02-05		x				
	HW03	19,716'	14,167'	HW-03-06		x	x	x		
				HW-03-07		x	x	x		
				HW-03-08		x	x	x		
				HW-03-09		x	x	x		
				HW-03-10		x	x	x		
	HW04	19,896'	15,015'	HW-04-11		x	x	x		
				HW-04-12		x				
				HW-04-13		x	x	x		
				HW-04-14		x	x	x		
				HW-04-15		x	x	x	x	
				HW-04-16		x	x	x	x	

Tabelle 7: Probenliste

Tabelle 8: EMPA-Analysen (Masse%) der Feldspäte mit Berechnung der Kationen, Endglieder und anderer Parameter.

	PLAGIOKLAUSE								KALIFELDSPÄTE																
	MB0613			GA0103		LA0203	LA0306		MB0406		MB0613				GA0103				GA0209	LA0203	LA0306		LA0610		
SiO <sub>2</sub>	69,95	69,90	70,02	69,81	68,64	69,16	69,44		65,77	65,92	66,08	65,78	65,48	65,68	65,11	65,45	65,89	65,77	66,11	66,21	65,36	65,33	65,23	66,10	65,99
TiO <sub>2</sub>	0,01	< D.L.	< D.L.	0,01	0,02	0,01	< D.L.		< D.L.	0,01	0,01	0,02	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02	0,01	< D.L.	0,01	0,01	< D.L.	< D.L.	0,02	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,01	19,71	19,62	19,79	20,50	20,16	19,94		19,01	19,00	19,00	19,08	18,96	19,12	19,07	19,03	18,96	19,11	19,23	19,05	19,14	18,99	18,88	19,08	18,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01		< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	0,02	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.
FeO	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.		0,01	0,01	0,01	0,02	< D.L.	0,04	< D.L.										
MnO	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.		< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02
MgO	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.		< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
CaO	0,56	0,20	0,18	0,26	1,10	0,79	0,35		0,01	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,01	0,34	0,01	0,01					
Na <sub>2</sub> O	11,39	13,05	11,43	11,47	10,29	11,65	12,57		1,43	1,26	1,01	0,45	0,86	1,01	0,78	0,80	0,70	1,23	0,64	1,05	1,65	1,44	0,73	1,32	1,35
K <sub>2</sub> O	0,17	0,06	0,08	0,07	0,08	0,09	0,16		14,79	13,77	15,46	14,93	15,86	16,37	17,20	15,77	16,64	16,47	15,68	14,99	15,81	15,13	14,78	15,97	14,13
Rb <sub>2</sub> O	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.		0,20	0,19	0,26	0,12	0,18	0,20	0,16	0,15	0,05	0,22	0,18	0,16	0,16	0,41	0,42	0,32	0,33
Total	102,11	102,92	101,32	101,43	100,62	101,86	102,46		101,23	100,15	101,82	100,40	101,37	102,37	102,37	101,20	102,27	102,81	101,87	101,47	102,15	101,32	100,39	102,81	100,77
Normalisierung auf Basis von 5 Kationen und 8 Sauerstoffatomen																									
Si	3,00	2,94	3,03	3,02	3,01	2,97	2,94		2,99	3,04	2,99	3,04	2,98	2,95	2,93	2,98	2,97	2,94	3,00	3,01	2,93	2,97	3,01	2,96	3,02
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,01	0,98	1,00	1,01	1,06	1,02	1,00		1,02	1,03	1,01	1,04	1,02	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,01	1,02
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,02		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Na	0,95	1,07	0,96	0,96	0,87	0,97	1,03		0,13	0,11	0,09	0,04	0,08	0,09	0,07	0,07	0,06	0,11	0,06	0,09	0,14	0,13	0,07	0,11	0,12
K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01		0,86	0,81	0,89	0,88	0,92	0,94	0,99	0,92	0,96	0,94	0,91	0,87	0,91	0,88	0,87	0,91	0,83
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>Anorthite</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Albite</b>	<b>0,96</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,98</b>		<b>0,13</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>
<b>Orthoclase</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>		<b>0,87</b>	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,92</b>	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,92</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>
Deficit Si	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01	0,00	-0,02	-0,02		0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
Deficit AlFe	0,03	-0,05	0,04	0,03	0,07	0,01	-0,04		-0,01	0,04	-0,01	0,04	-0,02	-0,05	-0,07	-0,02	-0,03	-0,06	0,00	0,01	-0,07	-0,03	0,03	-0,04	0,02
xAn	0,03	0,01	0,01	0,01	0,06	0,04	0,02		0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,21	0,00	0,00
Fe <sup>3+</sup> /Fetot	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Charge Def.	-0,06	0,20	-0,10	-0,07	-0,20	0,02	0,16		-0,01	-0,18	-0,02	-0,19	0,02	0,11	0,19	0,00	0,07	0,16	-0,06	-0,08	0,17	0,07	-0,10	0,11	-0,11

Tabelle 9: EMPA-Analysen (Masse%) mit Berechnung der Kationen für Columbite von Mitterberg und Garrach

Nr:	SiO <sub>2</sub>	CaO	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SnO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	Total	Si	Ca	Sc	Ti	Mn	Fe	Zr	Nb	Sn	Hf	Ta	W	U	Total	100xMn/ (Mn+Fe)	100xTa/ (Ta+Nb)	
MB0102	1	0.30	0.01	0.22	0.09	8.58	11.50	0.01	56.89	0.07	< D.L.	22.76	0.57	< D.L.	101.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.44	0.59	0.00	1.57	0.00	0.00	0.38	0.01	0.00	3.03	43.02	19.40
	2	0.34	0.04	0.29	0.12	8.69	10.93	0.00	51.94	0.07	< D.L.	28.70	0.52	0.01	101.65	0.02	0.00	0.02	0.01	0.46	0.57	0.00	1.46	0.00	0.00	0.49	0.01	0.00	3.03	44.61	24.95
	3	< D.L.	0.00	< D.L.	0.00	7.64	10.16	< D.L.	32.38	< D.L.	< D.L.	48.81	0.29	< D.L.	99.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.60	0.00	1.03	0.00	0.00	0.94	0.01	0.00	3.03	43.23	47.56
	4	0.32	0.10	0.24	0.57	7.86	12.35	0.04	57.12	0.13	< D.L.	21.92	0.87	0.03	101.55	0.02	0.01	0.01	0.03	0.40	0.62	0.00	1.56	0.00	0.00	0.36	0.01	0.00	3.03	39.19	18.76
	5	0.80	0.01	0.64	0.52	7.29	10.00	0.03	26.81	0.36	< D.L.	55.37	0.56	0.04	102.41	0.06	0.00	0.04	0.03	0.43	0.58	0.00	0.84	0.01	0.00	1.05	0.01	0.00	3.04	42.48	55.41
	6	0.40	0.51	0.28	0.26	8.08	10.81	< D.L.	52.71	0.12	< D.L.	27.70	0.56	0.02	101.45	0.03	0.03	0.02	0.01	0.42	0.56	0.00	1.47	0.00	0.00	0.47	0.01	0.00	3.02	43.08	24.02
	7	0.76	0.02	0.66	0.21	6.63	10.54	0.16	24.22	0.86	0.05	58.30	0.66	0.06	103.11	0.05	0.00	0.04	0.01	0.39	0.62	0.01	0.77	0.02	0.00	1.11	0.01	0.00	3.04	38.92	59.16
	8	0.69	0.01	0.58	0.11	7.19	10.54	0.09	29.45	0.22	< D.L.	52.65	0.69	0.05	102.28	0.05	0.00	0.03	0.01	0.42	0.61	0.00	0.92	0.01	0.00	0.99	0.01	0.00	3.04	40.84	51.82
MB0203	9	0.77	0.03	0.65	0.51	7.72	9.32	0.14	24.63	0.68	0.05	56.88	0.87	0.01	102.24	0.05	0.00	0.04	0.03	0.46	0.55	0.00	0.78	0.02	0.00	1.09	0.02	0.00	3.04	45.62	58.15
	10	0.61	0.02	0.54	0.30	7.86	10.21	< D.L.	34.60	0.04	< D.L.	47.50	0.77	< D.L.	102.45	0.04	0.00	0.03	0.01	0.45	0.57	0.00	1.05	0.00	0.00	0.86	0.01	0.00	3.03	43.82	45.24
	11	0.26	0.02	0.20	0.49	9.13	10.97	0.21	57.79	0.15	< D.L.	20.64	1.53	0.06	101.43	0.02	0.00	0.01	0.02	0.47	0.55	0.01	1.58	0.00	0.00	0.34	0.02	0.00	3.02	45.74	17.69
	12	0.43	< D.L.	0.33	0.65	7.01	12.38	0.25	47.30	0.21	< D.L.	32.67	0.73	0.07	102.01	0.03	0.00	0.02	0.03	0.37	0.65	0.01	1.35	0.01	0.00	0.56	0.01	0.00	3.03	36.44	29.35
	13	0.35	0.03	0.29	0.27	8.75	10.87	< D.L.	53.48	< D.L.	< D.L.	26.28	1.08	< D.L.	101.41	0.02	0.00	0.02	0.01	0.46	0.56	0.00	1.49	0.00	0.00	0.44	0.02	0.00	3.02	44.92	22.82
	14	0.62	0.50	0.53	0.85	7.20	10.60	0.02	32.77	0.22	< D.L.	46.84	0.71	0.08	100.94	0.04	0.04	0.03	0.04	0.41	0.60	0.00	1.01	0.01	0.00	0.86	0.01	0.00	3.06	40.77	46.23
	15	0.29	0.02	0.20	0.32	13.06	6.60	0.10	58.27	0.13	< D.L.	21.43	1.20	< D.L.	101.62	0.02	0.00	0.01	0.01	0.67	0.33	0.00	1.59	0.00	0.00	0.35	0.02	0.00	3.01	66.72	18.12
	16	0.59	0.10	0.47	0.36	9.78	8.27	0.08	37.62	0.07	< D.L.	43.48	1.28	0.04	102.14	0.04	0.01	0.03	0.02	0.55	0.46	0.00	1.12	0.00	0.00	0.78	0.02	0.00	3.03	54.48	41.02
MB0611	17	0.32	< D.L.	0.12	1.01	8.20	12.54	0.26	64.95	0.17	< D.L.	13.27	0.88	0.13	101.83	0.02	0.00	0.01	0.04	0.40	0.61	0.01	1.71	0.00	0.00	0.21	0.01	0.00	3.02	39.82	10.94
	18	0.42	0.15	0.06	0.40	6.50	14.65	0.04	69.29	0.06	< D.L.	8.22	0.47	0.04	100.29	0.02	0.01	0.00	0.02	0.32	0.71	0.00	1.81	0.00	0.00	0.13	0.01	0.00	3.03	31.00	6.66
	19	0.26	0.03	0.09	0.76	9.23	11.59	0.21	67.08	0.08	< D.L.	10.59	0.90	0.15	100.97	0.01	0.00	0.00	0.03	0.45	0.56	0.01	1.76	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	3.02	44.64	8.68
	20	0.20	0.04	0.09	0.59	9.35	11.50	0.08	67.25	0.08	< D.L.	10.87	0.71	0.03	100.78	0.01	0.00	0.00	0.03	0.46	0.56	0.00	1.77	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	3.02	45.17	8.87
	21	0.21	0.02	0.12	0.55	9.53	11.17	0.04	64.87	0.17	< D.L.	13.42	0.85	0.03	100.98	0.01	0.00	0.01	0.02	0.47	0.55	0.00	1.72	0.00	0.00	0.21	0.01	0.00	3.02	46.35	11.07
	22	0.18	0.01	0.08	0.64	9.45	11.42	0.22	67.20	0.10	< D.L.	10.79	0.80	0.07	100.96	0.01	0.00	0.00	0.03	0.47	0.56	0.01	1.77	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	3.02	45.60	8.81
GA0101	1	0.46	0.01	0.35	1.14	5.64	13.59	0.23	44.94	0.25	< D.L.	33.92	0.55	0.04	101.13	0.03	0.00	0.02	0.05	0.31	0.73	0.01	1.30	0.01	0.00	0.59	0.01	0.00	3.03	29.60	31.23
	2	0.61	0.00	0.51	1.22	5.03	13.48	0.18	34.67	0.24	< D.L.	45.38	0.69	0.10	102.12	0.04	0.00	0.03	0.06	0.28	0.75	0.01	1.04	0.01	0.00	0.82	0.01	0.00	3.04	27.43	44.06
	3	0.13	0.03	0.11	0.31	11.92	8.82	0.07	66.04	0.08	< D.L.	11.97	0.17	0.07	99.72	0.01	0.00	0.01	0.01	0.60	0.44	0.00	1.77	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	3.02	57.80	9.83
	4	0.13	0.03	0.06	0.35	12.11	8.76	0.10	67.76	0.08	< D.L.	10.57	0.34	0.02	100.32	0.01	0.00	0.00	0.02	0.60	0.43	0.00	1.79	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	3.02	58.33	8.58
GA0103	5	0.60	0.01	0.45	0.92	12.58	6.26	0.35	38.34	0.14	0.09	40.56	0.47	0.55	101.30	0.04	0.00	0.03	0.05	0.70	0.34	0.01	1.14	0.00	0.00	0.73	0.01	0.01	3.05	67.05	38.89
	6	0.16	< D.L.	0.12	0.93	14.32	6.12	0.33	65.83	0.06	0.04	11.42	0.51	0.22	100.06	0.01	0.00	0.01	0.04	0.71	0.30	0.01	1.75	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00	3.02	70.33	9.45
GA0106	7	0.67	< D.L.	0.58	0.67	9.66	8.05	0.03	32.81	0.14	0.05	48.59	1.16	0.04	102.44	0.04	0.00	0.03	0.03	0.55	0.45	0.00	1.00	0.00	0.00	0.89	0.02	0.00	3.02	54.86	47.12
	8	0.51	0.01	0.41	0.72	10.35	8.45	0.06	45.75	0.07	0.03	33.99	1.33	0.03	101.71	0.03	0.00	0.02	0.03	0.56	0.45	0.00	1.31	0.00	0.00	0.59	0.02	0.00	3.02	55.36	30.89
	9	0.49	0.01	0.38	0.68	7.05	12.29	0.04	46.51	0.14	0.06	33.77	0.43	0.05	101.91	0.03	0.00	0.02	0.03	0.38	0.65	0.00	1.33	0.00	0.00	0.58	0.01	0.00	3.03	36.76	30.41
	10	0.30	0.22	0.23	0.14	8.12	12.06	0.01	59.96	< D.L.	< D.L.	19.65	0.31	0.01	101.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.41	0.61	0.00	1.63	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	3.02	40.55	16.47
GA0209	11	0.59	< D.L.	0.51	0.89	5.91	12.75	0.07	37.69	0.12	0.04	42.58	0.50	0.04	101.68	0.04	0.00	0.03	0.04	0.33	0.70	0.00	1.12	0.00	0.00	0.76	0.01	0.00	3.04	31.95	40.46
	12	0.61	0.00	0.50	0.88	6.38	12.16	0.14	37.54	0.15	0.05	42.83	0.49	0.04	101.77	0.04	0.00	0.03	0.04	0.36	0.67	0.00	1.12	0.00	0.00	0.77	0.01	0.00	3.03	34.71	40.70

Berechnungen auf 3 Kationen und 6 Sauerstoff

Tabelle 10: EMPA-Analysen (Masse%) mit Berechnung der Kationen für Columbite von Hohenwart

	Nr:	SiO <sub>2</sub>	CaO	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SnO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	Total	Si	Ca	Sc	Ti	Mn	Fe	Zr	Nb	Sn	Hf	Ta	W	U	Total	100xMn/ (Mn+Fe)	100xTa/ (Ta+Nb)
HW0306	1	0.25	0.01	0.24	1.31	12.94	6.98	0.15	59.12	0.33	0.05	18.26	0.70	0.18	100.51	0.01	0.00	0.01	0.06	0.66	0.35	0.00	1.61	0.01	0.00	0.30	0.01	0.00	3.02	65.24	15.67
	2	0.28	0.04	0.28	1.73	11.90	7.45	0.20	55.25	0.51	0.06	22.08	0.69	0.20	100.66	0.02	0.00	0.02	0.08	0.61	0.38	0.01	1.52	0.01	0.00	0.37	0.01	0.00	3.02	61.82	19.38
	3	0.11	0.06	0.09	0.60	9.93	11.43	< D.L.	69.13	0.17	< D.L.	7.93	1.00	0.01	100.47	0.01	0.00	0.00	0.03	0.49	0.55	0.00	1.81	0.00	0.00	0.12	0.02	0.00	3.03	46.81	6.46
	4	0.32	0.03	0.34	0.95	10.42	9.00	0.10	52.68	0.26	0.02	26.10	0.84	0.06	101.12	0.02	0.00	0.02	0.04	0.54	0.46	0.00	1.47	0.01	0.00	0.44	0.01	0.00	3.02	53.98	22.96
	5	0.17	0.04	0.22	1.24	12.28	7.72	0.14	62.91	0.24	0.02	14.06	0.77	0.20	99.98	0.01	0.00	0.01	0.06	0.62	0.38	0.00	1.69	0.01	0.00	0.23	0.01	0.00	3.02	61.70	11.85
	6	0.12	0.05	0.18	0.77	13.06	7.38	0.04	66.92	0.12	0.02	10.70	0.59	0.04	100.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.65	0.36	0.00	1.77	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	3.02	64.18	8.78
0307	7	0.22	0.26	0.21	0.57	10.06	9.90	< D.L.	60.12	0.09	0.00	17.85	0.63	0.02	99.93	0.01	0.02	0.01	0.03	0.52	0.50	0.00	1.64	0.00	0.00	0.29	0.01	0.00	3.03	50.73	15.16
HW0309	8	0.22	0.03	0.15	0.58	10.07	10.13	0.03	62.18	0.13	< D.L.	16.34	0.87	0.00	100.72	0.01	0.00	0.01	0.03	0.51	0.50	0.00	1.67	0.00	0.00	0.26	0.01	0.00	3.01	50.16	13.65
	9	0.14	0.25	0.12	0.58	11.02	9.38	0.06	66.80	0.06	< D.L.	11.56	0.67	< D.L.	100.63	0.01	0.02	0.01	0.03	0.55	0.46	0.00	1.76	0.00	0.00	0.18	0.01	0.00	3.02	54.34	9.43
	10	0.16	0.02	0.13	0.57	9.76	10.87	0.04	65.75	0.14	< D.L.	12.11	0.82	0.01	100.38	0.01	0.00	0.01	0.03	0.49	0.53	0.00	1.75	0.00	0.00	0.19	0.01	0.00	3.02	47.61	9.97
	11	0.15	0.19	0.14	0.78	10.50	9.84	0.06	65.08	0.17	< D.L.	13.65	0.84	0.05	101.45	0.01	0.01	0.01	0.03	0.52	0.48	0.00	1.72	0.00	0.00	0.22	0.01	0.00	3.01	51.95	11.20
	12	0.34	0.07	0.37	1.33	9.69	9.39	0.01	50.57	0.26	< D.L.	27.60	1.13	0.11	100.87	0.02	0.00	0.02	0.06	0.51	0.49	0.00	1.42	0.01	0.00	0.47	0.02	0.00	3.02	51.11	24.72
	13	0.20	0.03	0.19	0.61	11.25	8.87	0.03	62.23	0.05	< D.L.	16.08	0.54	0.05	100.13	0.01	0.00	0.01	0.03	0.57	0.44	0.00	1.68	0.00	0.00	0.26	0.01	0.00	3.02	56.24	13.46
	14	0.52	< D.L.	0.44	0.85	7.92	10.54	0.12	40.18	0.09	< D.L.	39.55	0.73	0.03	100.96	0.03	0.00	0.02	0.04	0.44	0.58	0.00	1.19	0.00	0.00	0.71	0.01	0.00	3.03	43.21	37.19
	15	0.19	0.04	0.13	0.59	10.74	9.60	0.05	63.14	0.05	< D.L.	14.71	0.94	0.02	100.21	0.01	0.00	0.01	0.03	0.54	0.48	0.00	1.70	0.00	0.00	0.24	0.01	0.00	3.02	53.13	12.29
	16	0.12	0.03	0.18	0.46	13.14	7.42	0.09	67.63	0.09	0.02	9.67	0.67	0.02	99.52	0.01	0.00	0.01	0.02	0.65	0.36	0.00	1.79	0.00	0.00	0.15	0.01	0.00	3.02	64.22	7.92
17	0.23	0.04	0.26	0.86	12.31	7.62	0.11	60.60	0.25	0.02	17.58	0.67	0.09	100.65	0.01	0.00	0.01	0.04	0.62	0.38	0.00	1.64	0.01	0.00	0.29	0.01	0.00	3.02	62.08	14.86	
HW0411	18	0.42	< D.L.	0.35	0.20	6.45	13.24	0.04	50.34	0.08	0.02	30.31	0.33	0.01	101.77	0.03	0.00	0.02	0.01	0.34	0.69	0.00	1.42	0.00	0.00	0.52	0.01	0.00	3.03	33.02	26.60
	19	0.54	< D.L.	0.48	0.21	6.92	11.88	0.04	41.57	0.08	0.04	39.79	0.31	0.03	101.90	0.03	0.00	0.03	0.01	0.38	0.65	0.00	1.22	0.00	0.00	0.70	0.01	0.00	3.03	37.10	36.55
	20	0.68	0.01	0.44	0.25	7.71	11.19	0.33	42.27	0.18	0.07	38.16	0.50	0.08	101.86	0.04	0.00	0.02	0.01	0.42	0.60	0.01	1.23	0.00	0.00	0.67	0.01	0.00	3.03	41.10	35.20
	21	0.57	0.00	0.50	0.07	6.79	11.95	0.06	39.51	0.09	0.03	42.00	0.80	0.02	102.38	0.04	0.00	0.03	0.00	0.38	0.65	0.00	1.17	0.00	0.00	0.75	0.01	0.00	3.03	36.55	39.01
	22	0.41	0.01	0.36	0.10	9.26	10.05	0.01	48.80	0.18	< D.L.	31.35	0.37	0.05	100.95	0.03	0.00	0.02	0.00	0.50	0.53	0.00	1.40	0.00	0.00	0.54	0.01	0.00	3.03	48.26	27.87
	23	0.28	0.01	0.24	0.21	9.15	11.07	0.07	58.10	0.11	0.02	21.48	0.51	0.02	101.27	0.02	0.00	0.01	0.01	0.47	0.56	0.00	1.59	0.00	0.00	0.35	0.01	0.00	3.02	45.57	18.20
	24	0.47	< D.L.	0.42	0.30	6.67	12.46	0.03	44.24	0.17	0.03	37.12	0.49	0.01	102.40	0.03	0.00	0.02	0.01	0.36	0.67	0.00	1.28	0.00	0.00	0.65	0.01	0.00	3.03	35.14	33.55
	25	0.81	< D.L.	0.73	0.88	6.40	10.67	0.22	23.21	0.32	0.07	59.80	0.60	0.07	103.75	0.06	0.00	0.04	0.05	0.38	0.62	0.01	0.73	0.01	0.00	1.13	0.01	0.00	3.03	37.78	60.79
HW0413	26	0.31	0.57	0.23	0.54	12.20	6.61	0.03	56.53	0.06	< D.L.	22.41	0.53	0.02	100.03	0.02	0.04	0.01	0.03	0.63	0.34	0.00	1.57	0.00	0.00	0.37	0.01	0.00	3.02	65.14	19.26
	27	< D.L.	0.52	0.27	0.61	12.71	5.81	< D.L.	56.84	0.01	0.02	22.04	0.45	0.04	99.31	0.00	0.03	0.01	0.03	0.67	0.30	0.00	1.59	0.00	0.00	0.37	0.01	0.00	3.01	68.90	18.92
HW0414	28	0.35	0.01	0.26	0.23	13.58	6.08	0.12	55.72	0.23	0.02	23.68	0.38	0.05	100.71	0.02	0.00	0.01	0.01	0.71	0.31	0.00	1.55	0.01	0.00	0.40	0.01	0.00	3.02	69.35	20.36
	29	0.72	0.01	0.60	0.31	11.33	5.84	0.12	29.96	0.26	0.08	50.68	0.44	0.08	100.42	0.05	0.00	0.04	0.02	0.67	0.34	0.00	0.94	0.01	0.00	0.96	0.01	0.00	3.03	66.29	50.44
	30	0.20	< D.L.	0.16	0.89	6.82	13.91	0.16	62.98	0.21	0.03	15.54	0.66	0.06	101.63	0.01	0.00	0.01	0.04	0.34	0.68	0.00	1.67	0.00	0.00	0.25	0.01	0.00	3.02	33.19	12.93
	31	0.65	< D.L.	0.55	0.24	8.15	10.07	0.11	34.23	0.09	0.06	48.35	0.53	0.03	103.04	0.04	0.00	0.03	0.01	0.46	0.56	0.00	1.03	0.00	0.00	0.88	0.01	0.00	3.03	45.07	45.94
HW0415	32	0.79	< D.L.	0.72	0.38	4.61	12.77	0.04	24.20	0.16	0.05	59.70	0.46	0.05	103.93	0.06	0.00	0.04	0.02	0.27	0.74	0.00	0.76	0.00	0.00	1.13	0.01	0.00	3.03	26.75	59.75
	33	0.44	0.01	0.37	0.63	8.19	11.29	0.08	47.11	0.19	0.05	32.74	0.62	0.02	101.74	0.03	0.00	0.02	0.03	0.44	0.60	0.00	1.35	0.00	0.00	0.56	0.01	0.00	3.03	42.35	29.49
	34	0.82	< D.L.	0.72	0.34	5.59	11.67	0.12	22.10	0.48	0.08	61.00	0.57	0.05	103.55	0.06	0.00	0.04	0.02	0.33	0.69	0.00	0.70	0.01	0.00	1.17	0.01	0.00	3.04	32.68	62.41
	35	0.24	< D.L.	0.19	0.22	6.62	14.05	< D.L.	61.08	0.12	0.02	18.71	0.61	0.02	101.88	0.01	0.00	0.01	0.01	0.33	0.70	0.00	1.64	0.00	0.00	0.30	0.01	0.00	3.02	32.31	15.56
	36	0.72	< D.L.	0.63	0.63	4.99	12.92	0.07	29.18	0.11	0.08	53.22	0.48	0.04	103.06	0.05	0.00	0.04	0.03	0.29	0.74	0.00	0.90	0.00	0.00	0.99	0.01	0.00	3.03	28.11	52.32
	37	0.78	0.00	0.72	0.58	5.99	11.45	0.09	24.11	0.26	0.08	58.67	0.55	0.03	103.31	0.05	0.00	0.04	0.03	0.35	0.67	0.00	0.76								

Tabelle 11 : EMPA-Analysen (Masse%) mit Berechnung der Kationen für Columbite von Lachtal

Nr:	SiO <sub>2</sub> CaO Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> MnO FeO ZrO <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> SnO <sub>2</sub> HfO <sub>2</sub> Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> WO <sub>3</sub> UO <sub>2</sub>													Total	Si Ca Sc Ti Mn Fe Zr Nb Sn Hf Ta W U											Total	100xMn/ (Mn+Fe)	100xTa/ (Ta+Nb)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	0.01		0.00	0.01	0.09	0.55	0.43	0.01	1.73	0.01	0.00	0.16	0.01				0.00	3.02	56.18
LA0101	1	0.14	0.02	0.11	2.15	11.28	8.91	0.29	65.99	0.22	0.00	10.24	0.87	0.35	100.57	0.01	0.00	0.01	0.09	0.55	0.43	0.01	1.73	0.01	0.00	0.16	0.01	0.00	3.02	56.18	8.54
	2	0.15	0.01	0.13	1.45	11.50	8.90	0.17	66.58	0.14	0.02	10.73	0.83	0.17	100.77	0.01	0.00	0.01	0.06	0.57	0.43	0.00	1.75	0.00	0.00	0.17	0.01	0.00	3.02	56.67	8.84
	3	0.13	0.05	0.10	3.03	14.25	5.30	0.49	64.91	0.36	0.03	9.25	0.90	0.77	99.55	0.01	0.00	0.01	0.13	0.70	0.26	0.01	1.71	0.01	0.00	0.15	0.01	0.01	3.01	73.13	7.89
	4	0.23	0.03	0.20	1.54	13.64	5.99	0.20	60.07	0.40	0.03	17.13	0.90	0.34	100.69	0.01	0.00	0.01	0.07	0.69	0.30	0.01	1.62	0.01	0.00	0.28	0.01	0.00	3.02	69.76	14.64
	5	0.21	0.08	0.13	2.72	11.71	7.81	0.47	62.67	0.56	0.07	12.52	0.82	0.64	100.40	0.01	0.00	0.01	0.12	0.58	0.38	0.01	1.66	0.01	0.00	0.20	0.01	0.01	3.01	60.28	10.73
LA0102	6	0.60	0.00	0.58	1.60	9.97	7.94	0.17	36.85	0.66	< D.L.	43.45	0.82	0.16	102.78	0.04	0.00	0.03	0.08	0.55	0.43	0.01	1.09	0.02	0.00	0.77	0.01	0.00	3.03	55.99	41.50
	7	0.45	0.00	0.41	1.39	10.18	8.81	0.12	47.71	0.48	< D.L.	31.34	0.84	0.13	101.84	0.03	0.00	0.02	0.07	0.54	0.46	0.00	1.35	0.01	0.00	0.53	0.01	0.00	3.03	53.94	28.33
	8	0.20	0.01	0.17	2.89	11.41	8.47	0.38	61.60	0.46	< D.L.	13.84	1.11	0.51	101.04	0.01	0.00	0.01	0.13	0.57	0.41	0.01	1.63	0.01	0.00	0.22	0.02	0.01	3.02	57.71	11.91
	9	0.18	0.02	0.18	2.03	10.93	9.22	0.28	62.04	0.33	0.02	13.96	1.06	0.27	100.51	0.01	0.00	0.01	0.09	0.55	0.45	0.01	1.65	0.01	0.00	0.22	0.02	0.00	3.03	54.57	11.92
	10	0.66	0.01	0.53	1.73	9.74	8.03	0.22	34.24	0.73	0.06	45.55	0.86	0.20	102.56	0.04	0.00	0.03	0.09	0.54	0.44	0.01	1.02	0.02	0.00	0.82	0.01	0.00	3.03	55.13	44.46
	11	0.30	0.00	0.26	3.48	9.34	9.71	0.73	52.11	0.62	0.07	23.69	1.39	0.38	102.07	0.02	0.00	0.01	0.16	0.48	0.49	0.02	1.42	0.01	0.00	0.39	0.02	0.01	3.02	49.33	21.48
	12	0.63	0.01	0.53	1.92	8.44	9.23	0.26	34.08	0.65	0.05	44.28	0.88	0.27	101.21	0.04	0.00	0.03	0.10	0.48	0.52	0.01	1.03	0.02	0.00	0.80	0.02	0.00	3.04	48.06	43.87
LA0205	13	0.42	0.03	0.33	0.79	10.42	8.63	0.05	48.90	0.17	< D.L.	30.75	0.77	0.03	101.28	0.03	0.00	0.02	0.04	0.55	0.45	0.00	1.39	0.00	0.00	0.53	0.01	0.00	3.02	55.02	27.45
	14	0.70	0.02	0.56	1.34	9.44	8.03	0.17	29.64	0.57	< D.L.	51.10	0.80	0.07	102.44	0.05	0.00	0.03	0.07	0.54	0.46	0.01	0.91	0.02	0.00	0.94	0.01	0.00	3.04	54.38	50.92
	15	0.19	0.07	0.10	0.85	10.98	9.30	0.08	64.58	0.17	< D.L.	12.32	1.15	0.06	99.85	0.01	0.00	0.01	0.04	0.55	0.46	0.00	1.73	0.00	0.00	0.20	0.02	0.00	3.02	54.47	10.30
	16	0.32	0.02	0.26	0.93	10.57	9.01	0.06	54.55	0.31	< D.L.	24.95	1.07	0.06	102.12	0.02	0.00	0.01	0.04	0.54	0.46	0.00	1.50	0.01	0.00	0.41	0.02	0.00	3.02	54.32	21.58
	17	0.49	0.00	0.42	0.49	10.50	8.05	0.09	42.58	0.20	< D.L.	38.28	0.65	0.03	101.79	0.03	0.00	0.02	0.02	0.58	0.44	0.00	1.24	0.01	0.00	0.67	0.01	0.00	3.03	56.91	35.11
	18	0.66	< D.L.	0.59	0.89	9.86	7.67	0.08	30.18	0.35	< D.L.	51.59	0.90	0.08	102.84	0.04	0.00	0.03	0.05	0.57	0.44	0.00	0.93	0.01	0.00	0.95	0.02	0.00	3.03	56.55	50.71
	19	0.27	0.02	0.20	0.99	10.17	9.75	0.13	57.99	0.27	< D.L.	21.67	1.01	0.09	102.54	0.02	0.00	0.01	0.04	0.51	0.49	0.00	1.57	0.01	0.00	0.35	0.02	0.00	3.02	51.36	18.35
	20	0.57	0.01	0.47	1.83	7.95	9.98	0.25	36.27	0.87	< D.L.	43.20	0.83	0.17	102.40	0.04	0.00	0.03	0.09	0.44	0.55	0.01	1.07	0.02	0.00	0.77	0.01	0.00	3.03	44.67	41.75
LA0306	21	0.26	0.31	0.22	1.13	10.74	8.75	0.05	58.42	0.43	0.02	18.04	1.16	0.01	99.55	0.02	0.02	0.01	0.05	0.55	0.44	0.00	1.60	0.01	0.00	0.30	0.02	0.00	3.03	55.43	15.67
	22	0.21	0.36	0.17	0.73	11.87	8.59	0.02	63.79	0.20	0.00	13.83	0.93	< D.L.	100.69	0.01	0.02	0.01	0.03	0.59	0.42	0.00	1.70	0.00	0.00	0.22	0.01	0.00	3.03	58.31	11.54
	23	0.24	0.30	0.20	1.37	11.33	8.36	0.06	59.19	0.51	0.03	17.82	1.06	0.01	100.48	0.01	0.02	0.01	0.06	0.58	0.42	0.00	1.60	0.01	0.00	0.29	0.02	0.00	3.03	57.85	15.33
LA0407	24	0.75	0.00	0.70	1.45	9.32	7.84	0.16	27.40	0.66	0.06	53.21	0.82	0.10	102.45	0.05	0.00	0.04	0.07	0.54	0.45	0.01	0.85	0.02	0.00	0.99	0.01	0.00	3.04	54.63	53.88
	25	0.45	0.03	0.41	1.21	11.27	7.50	0.14	46.22	0.42	0.03	32.76	0.89	0.06	101.39	0.03	0.00	0.02	0.06	0.60	0.40	0.00	1.32	0.01	0.00	0.56	0.01	0.00	3.03	60.36	29.89
	26	0.41	0.04	0.37	1.07	12.47	6.45	0.07	49.04	0.35	0.03	29.91	0.85	0.06	101.11	0.03	0.00	0.02	0.05	0.66	0.34	0.00	1.39	0.01	0.00	0.51	0.01	0.00	3.02	66.20	26.85
	27	0.46	0.05	0.41	1.34	11.78	6.82	0.16	46.24	0.53	0.03	32.38	0.57	0.01	100.78	0.03	0.00	0.02	0.06	0.63	0.36	0.01	1.33	0.01	0.00	0.56	0.01	0.00	3.03	63.63	29.64
	28	0.63	0.04	0.58	1.59	11.08	6.50	0.17	34.68	0.61	0.07	44.89	1.30	0.07	102.20	0.04	0.00	0.03	0.08	0.62	0.36	0.01	1.04	0.02	0.00	0.81	0.02	0.00	3.03	63.31	43.78
LA0508	29	0.30	0.01	0.19	1.83	10.47	9.23	0.29	56.69	0.44	< D.L.	21.06	1.34	0.23	102.06	0.02	0.00	0.01	0.08	0.53	0.46	0.01	1.53	0.01	0.00	0.34	0.02	0.00	3.02	53.46	18.27
	30	0.70	0.11	0.35	1.26	9.82	8.89	0.14	46.48	0.42	< D.L.	31.00	1.18	0.06	100.41	0.04	0.01	0.02	0.06	0.53	0.47	0.00	1.33	0.01	0.00	0.53	0.02	0.00	3.03	52.81	28.64
	31	0.76	0.13	0.59	2.15	7.91	9.15	0.28	26.93	0.90	< D.L.	52.61	1.03	0.20	102.64	0.05	0.01	0.03	0.11	0.46	0.52	0.01	0.83	0.02	0.00	0.97	0.02	0.00	3.04	46.67	54.03
	32	0.57	0.05	0.45	2.07	9.25	8.90	0.36	38.26	0.56	< D.L.	40.90	1.33	< D.L.	102.70	0.04	0.00	0.03	0.10	0.51	0.48	0.01	1.12	0.01	0.00	0.72	0.02	0.00	3.03	51.28	39.14
	33	0.18	0.02	0.12	0.98	10.13	10.38	0.11	65.16	0.16	< D.L.	13.70	1.06	0.05	102.03	0.01	0.00	0.01	0.04	0.50	0.50	0.00	1.71	0.00	0.00	0.22	0.02	0.00	3.01	49.71	11.23
	34	0.27	0.02	0.20	1.55	10.33	9.50	0.21	58.05	0.37	< D.L.	20.08	1.24	0.19	101.99	0.02	0.00	0.01	0.07	0.52	0.47	0.01	1.56	0.01	0.00	0.33	0.02	0.00	3.02	52.41	17.23
	35	0.69	0.04	0.61	2.56	7.59	9.23	0.38	26.02	1.28	0.03	53.96	1.04	0.14	103.57	0.05	0.00	0.04	0.13	0.44	0.52	0.01	0.80	0.03	0.00	0.99	0.02	0.00	3.03	45.44	55.52
LA0610	36	0.23	0.00	0.20	0.35	6.97	13.66	< D.L.	61.36	0.05	0.01	16.78	0.43	0.03	100.06	0.01	0.00	0.01	0.02	0.36	0.69	0.00	1.67	0.00	0.00	0.27	0.01	0.00	3.03	34.06	14.13
	37	0.65	< D.L.	0.49	0.55	5.40	13.28	0.02	38.05	0.05	0.04	42.66	0.62	0.03	101.84	0.04	0.00	0.03	0.03	0.30	0.73	0.00	1.13	0.00	0.00	0.76	0.01	0.00	3.04	29.16	40.28
	38	0.56	0.01	0.48	0.45	7.38	11.45	0.06	40.00	0.05	0.04	40.30	0.68	0.03	101.49	0.04	0.00	0.03	0.02	0.41	0.63	0.00	1.19	0.00	0.00	0.72	0.01	0.00	3.04	39.49	37.74
	39	0.75	0.03	0.54	0.22	7.00	11.38	0.05	34.95	0.04	0.05	45.20	0.55	0.04	100.79	0.05	0.00	0.03	0.01	0.40	0.64	0.00	1.07	0.00	0.00	0.83	0.01	0.00	3.05	38.39	43.76
	40	0.86	0.04	0.38	0.61	6.89	12.51	0.15	45.41	0.09	0.05	33.66	1.10	0.06	101.80	0.05	0.00	0.02	0.03	0.37	0.66	0.00	1.30	0.00	0.00	0.58	0.02	0.00	3.04	35.81	30.84

	Nr.:	Probe:	SiO2	CaO	Sc2O3	TiO2	MnO	FeO	ZrO2	Nb2O5	SnO2	HfO2	Ta2O5	WO3	UO2	totals
GARRACH	#1	GA0107	0.13	0.69	0.14	0.58	0.01	< D.L.	< D.L.	29.84	< D.L.	< D.L.	12.28	2.19	5.51	51.38
	#2	GA0107	0.22	0.96	0.19	0.58	0.02	0.08	< D.L.	28.54	< D.L.	< D.L.	14.61	1.76	6.47	53.44
	#3	GA0107	0.58	14.81	0.55	11.48	0.33	0.27	0.01	9.41	< D.L.	0.06	43.44	0.29	23.38	104.61
	#4	GA0208	< D.L.	14.99	0.56	11.99	0.28	0.32	< D.L.	9.03	< D.L.	0.04	41.62	0.09	22.92	101.82
	#5	GA0208	< D.L.	15.97	0.36	15.97	0.35	0.31	0.00	13.75	< D.L.	0.02	27.43	0.29	27.24	101.69
	#6	GA0106	0.83	17.10	0.73	1.30	1.09	0.92	0.05	19.10	0.74	0.05	57.09	0.42	0.18	99.59
	#7	GA0101	0.21	17.22	0.90	0.79	0.73	0.16	0.01	11.34	1.89	0.06	67.02	0.30	1.62	102.23
	#8	GA0101	0.24	17.90	0.83	1.08	0.80	0.19	0.02	14.28	2.00	0.07	61.30	0.20	1.91	100.80
HOHENWART	#1	HW0309	0.18	0.77	0.13	22.21	0.52	0.25	0.08	21.45	0.25	< D.L.	17.10	1.28	1.99	66.22
	#2	HW0309	0.24	1.01	0.16	23.18	0.63	0.45	0.11	16.17	0.03	< D.L.	19.42	1.30	12.46	75.16
	#3	HW0307	0.29	1.58	0.28	0.77	9.84	8.76	0.02	54.08	0.38	0.03	21.95	0.68	0.74	99.39
	#4	HW0306	0.70	2.66	0.40	3.64	9.50	5.26	0.67	44.17	0.97	0.07	31.60	0.74	1.52	101.89
	#5	HW0203	0.10	4.05	0.02	0.25	0.12	0.07	0.00	33.95	< D.L.	< D.L.	2.19	1.65	17.93	60.34
	#6	HW0203	0.07	4.34	0.05	1.75	0.02	0.03	0.09	31.82	< D.L.	< D.L.	4.26	1.32	21.41	65.17
	#7	HW0101	0.37	4.79	0.36	18.35	< D.L.	0.07	< D.L.	15.44	< D.L.	< D.L.	33.10	0.54	4.23	77.24
	#8	HW0101	0.28	5.05	0.25	19.89	< D.L.	0.16	0.02	20.77	< D.L.	< D.L.	23.14	0.72	6.78	77.05
	#9	HW0204	0.35	7.08	0.36	15.21	< D.L.	0.09	< D.L.	22.90	0.05	0.00	31.04	0.45	2.37	79.89
	#10	HW0102	1.89	8.42	0.23	15.60	1.00	0.72	< D.L.	17.64	1.21	< D.L.	18.38	0.27	29.69	95.04
	#11	HW0309	0.28	9.74	0.21	3.32	0.27	0.11	0.09	26.41	1.51	< D.L.	20.60	2.15	17.05	81.73
	#12	HW0413	< D.L.	13.85	0.72	3.00	0.02	0.13	< D.L.	28.59	0.03	0.04	51.86	0.38	0.11	98.73
	#13	HW0413	< D.L.	13.89	0.49	2.83	0.66	0.44	4.40	36.16	< D.L.	0.55	38.10	0.48	0.55	98.54
	#14	HW0101	0.50	14.18	0.49	12.50	0.89	0.24	0.01	9.89	0.84	< D.L.	38.03	0.42	25.85	103.85
	#15	HW0101	0.42	14.27	0.42	13.95	0.95	0.24	0.00	12.16	0.98	0.03	32.63	0.32	27.91	104.28
	#16	HW0416	0.68	14.40	0.65	7.48	0.71	0.27	0.03	7.84	0.55	0.04	53.16	0.63	17.14	103.58
	#17	HW0415	1.03	14.45	0.99	0.38	0.91	0.68	0.01	5.00	1.04	0.08	75.44	0.47	1.01	101.47
	#18	HW0413	< D.L.	14.69	0.76	4.02	0.04	0.06	0.00	24.30	0.03	0.03	56.58	0.66	0.06	101.23
	#19	HW0101	0.36	14.69	0.36	14.38	0.95	0.22	0.02	13.70	0.81	0.01	29.73	0.42	27.98	103.64
	#20	HW0101	0.40	14.77	0.36	14.31	0.91	0.27	0.02	13.31	0.56	0.02	30.36	0.55	27.60	103.43
	#21	HW0413	< D.L.	14.87	0.57	3.87	0.05	0.03	0.18	35.85	0.13	0.06	43.83	0.59	1.30	101.33
	#22	HW0413	< D.L.	14.91	0.68	1.94	0.05	0.01	0.06	31.54	< D.L.	0.06	50.71	0.60	0.22	100.78
	#23	HW0204	0.27	15.04	0.26	1.75	1.38	0.38	0.05	60.14	0.06	0.01	18.89	0.49	0.19	98.90
	#24	HW0413	< D.L.	15.68	0.49	0.84	0.19	0.06	0.08	47.30	0.01	< D.L.	35.34	0.63	0.19	100.80
	#25	HW0102	0.38	15.69	0.38	13.30	1.03	0.35	0.02	13.92	1.52	0.02	31.91	0.18	25.83	104.51
	#26	HW0204	0.22	15.75	0.21	2.11	0.56	0.04	0.07	62.07	0.07	0.01	16.33	0.40	0.09	97.93
	#27	HW0204	0.28	15.87	0.28	1.76	0.60	0.04	0.10	59.25	0.03	0.02	20.31	0.66	0.18	99.37
	#28	HW0204	0.22	15.92	0.14	2.53	0.25	0.04	0.09	63.66	0.16	0.01	12.79	0.57	0.26	96.65
	#29	HW0203	0.48	15.96	0.47	11.06	0.81	0.22	0.02	13.07	1.97	0.02	37.43	0.46	22.04	103.98
	#30	HW0413	< D.L.	15.99	0.46	1.19	0.25	0.17	0.10	49.03	< D.L.	0.04	32.82	0.92	0.18	101.15
	#31	HW0102	0.31	16.00	0.31	14.82	1.08	0.31	0.02	16.75	1.40	0.03	25.21	0.28	27.62	104.14
	#32	HW0307	0.54	16.01	0.41	1.35	0.81	0.59	0.01	42.98	0.71	0.02	34.19	0.61	1.09	99.31
	#33	HW0203	0.48	16.08	0.33	13.72	0.82	0.21	0.02	15.75	1.80	0.02	28.95	0.38	25.50	104.05
	#34	HW0413	< D.L.	16.14	0.41	0.77	0.27	0.08	0.13	52.78	0.07	0.01	29.11	0.39	0.48	100.63
	#35	HW0102	0.55	16.31	0.52	6.99	1.03	0.54	< D.L.	18.13	1.76	0.01	41.41	0.32	16.41	104.00
	#36	HW0310	0.23	16.44	0.30	0.71	0.52	0.21	< D.L.	62.37	0.03	0.03	20.54	0.57	0.07	102.01
	#37	HW0204	0.38	16.66	0.37	14.23	0.69	0.20	0.01	15.42	0.59	0.04	29.01	0.49	26.40	104.48
	#38	HW0306	0.22	16.67	0.22	1.11	0.54	0.13	< D.L.	63.92	0.06	0.01	16.62	0.82	0.32	100.63
	#39	HW0203	0.33	16.72	0.30	10.37	0.72	0.38	< D.L.	22.82	2.87	0.02	23.66	0.45	23.56	102.20
	#40	HW0307	0.22	16.73	0.25	1.01	0.49	0.10	0.02	62.84	0.07	0.00	17.81	0.82	0.29	100.65
	#41	HW0203	0.36	16.77	0.32	11.03	0.76	0.42	0.03	21.86	2.09	0.05	25.89	0.47	23.54	103.58
	#42	HW0102	0.30	16.81	0.30	16.37	1.06	0.31	< D.L.	15.79	1.22	0.02	23.68	0.30	28.66	104.80
	#43	HW0307	0.21	16.95	0.23	0.74	0.54	0.26	< D.L.	64.50	0.01	0.03	16.78	0.70	0.25	101.21
	#44	HW0307	0.21	17.00	0.23	0.77	0.52	0.40	0.02	64.36	0.06	0.02	16.56	0.64	0.18	100.96
	#45	HW0310	0.75	17.37	0.76	1.88	0.35	0.15	< D.L.	19.16	0.99	0.07	56.10	0.42	1.42	99.41
	#46	HW0204	0.33	17.44	0.28	11.09	0.65	0.24	0.01	26.57	0.53	0.03	23.69	0.49	22.14	103.50
	#47	HW0306	0.10	17.52	0.12	0.55	0.63	0.25	< D.L.	72.56	0.07	0.02	8.38	0.52	0.04	100.76
	#48	HW0204	0.54	17.73	0.57	5.66	1.02	0.23	< D.L.	20.82	0.94	0.04	43.67	0.47	10.54	102.23
	#49	HW0204	0.61	17.88	0.59	4.79	1.03	0.26	0.01	20.79	0.88	0.03	46.08	0.67	8.82	102.43
	#50	HW0307	0.64	18.33	0.57	5.18	0.52	0.14	< D.L.	19.47	1.81	0.04	46.12	0.73	8.96	102.51
	#51	HW0204	1.05	18.65	0.65	4.14	0.91	0.13	< D.L.	20.08	0.23	0.06	49.68	0.86	4.11	100.54
	#52	HW0413	0.43	18.74	0.43	0.98	0.18	0.12	0.10	46.84	< D.L.	< D.L.	34.83	1.06	0.31	104.01
LACHTAL	#1	LA0101	< D.L.	0.58	< D.L.	0.54	0.04	0.09	0.11	0.05	102.03	< D.L.	0.48	< D.L.	< D.L.	103.91
	#2	LA0306	0.02	0.59	< D.L.	0.57	0.05	0.44	0.09	0.66	101.36	< D.L.	1.28	< D.L.	< D.L.	105.06
	#3	LA0508	0.48	2.28	0.34	1.38	9.17	9.44	0.23	48.03	0.40	< D.L.	30.58	1.06	0.07	103.46
	#4	LA0306	0.66	2.74	0.32	1.20	10.12	7.89	0.01	50.00	0.76	0.05	25.86	0.90	1.52	102.03
	#5	LA0102	0.74	11.90	0.68	5.03	0.57	0.55	< D.L.	10.57	0.96	0.03	52.71	0.78	16.22	100.73
	#6	LA0407	0.91	14.67	0.89	1.27	1.01	0.38	0.00	8.78	2.74	0.06	66.39	0.57	1.80	99.47
	#7	LA0306	0.68	15.46	0.62	4.05	1.08	0.41	0.03	17.55	3.00	0.04	48.31	1.28	6.97	99.47
	#8	LA0306	1.13	15.92	0.70	2.44	1.94	1.17	< D.L.	18.30	2.15	0.05	54.52	1.07	0.87	100.24
	#9	LA0508	< D.L.	< D.L.	0.10	< D.L.	0.05	0.08	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0.03	0.09	101.11	101.46
	#10	LA0508	< D.L.	< D.L.	0.07	< D.L.	0.06	0.10	0.01	< D.L.	102.66	102.90				

Tabelle 12: EMPA-Analysen (Masse%) der anderen Nb-Ta-Minerale von Garrach, Hohenwart und Lachtal; einige totals << 100 Masse% sind dadurch zu erklären, dass gewisse Elemente mit diesem Messprogramm nicht erfasst wurden.

Element	MB0102				MB0101				MB0204				MB0203			
	MU33	MU34	MU35	MU36	MU37	MU38	MU39	MU40	MU41	MU42	MU43	MU44	MU45	MU46	MU47	MU48
<b>EMPA [%]</b>																
K	8,35	8,35	8,28	8,28	8,39	8,39	8,42	8,42	8,48	8,48	8,49	8,49	8,29	8,29	8,62	8,62
Fe	1,10	1,10	1,26	1,26	1,52	1,52	1,56	1,56	1,37	1,37	1,47	1,47	0,97	0,97	0,94	0,94
Al	18,99	18,99	19,26	19,26	18,83	18,83	18,73	18,73	18,82	18,82	18,86	18,86	19,31	19,31	19,32	19,32
Si	21,36	21,36	21,22	21,22	21,46	21,46	21,36	21,36	21,41	21,41	21,41	21,41	21,41	21,41	21,41	21,41
<b>LA-ICP-MS [ppm]</b>																
Li	224,05	250,23	338,23	351,50	374,47	370,68	398,13	375,34	510,09	521,54	465,59	547,44	423,00	423,72	410,32	423,82
Be	41,73	49,40	55,41	54,40	30,75	31,62	27,93	29,99	34,23	33,36	31,36	26,64	27,71	25,70	27,49	28,27
B	234,97	168,41	194,35	206,95	156,13	201,66	151,12	120,52	149,48	138,14	131,27	141,58	133,65	115,37	139,29	119,89
Sc	14,63	17,16	6,48	5,61	12,35	12,94	12,45	12,67	5,76	7,64	11,60	10,44	11,97	8,40	8,52	7,25
Ti	590,94	672,00	72,09	50,02	592,96	634,35	536,84	561,48	69,57	75,12	110,07	126,70	318,94	550,67	195,86	150,66
V	0,63	1,11	< D.L.	0,05	0,16	0,15	0,16	0,18	< D.L.	0,05	0,25	0,21	0,12	< D.L.	0,07	0,06
Cr	< D.L.															
Mn	242,42	267,03	190,45	192,76	484,33	507,37	332,12	420,49	265,19	247,89	247,70	239,13	296,80	324,29	331,96	286,93
Co	0,03	0,06	0,04	0,04	0,09	0,08	0,08	0,09	0,02	< D.L.	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02
Ni	0,24	0,26	0,55	0,42	0,11	0,11	0,09	0,11	0,24	0,14	0,23	0,18	0,39	0,19	0,20	0,15
Cu	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,19	< D.L.	0,13	< D.L.	0,22	< D.L.	< D.L.	< D.L.				
Zn	177,29	155,29	118,69	126,06	211,04	220,54	199,17	241,65	161,62	154,87	143,18	149,11	114,20	107,73	150,03	128,41
Ga	113,83	130,42	148,05	130,63	114,63	117,38	116,57	121,27	119,15	113,30	114,47	123,58	165,56	149,79	126,01	120,20
Ge	5,67	5,86	12,12	10,43	5,72	5,59	5,99	6,28	7,11	6,92	4,06	4,29	8,46	8,51	6,50	7,10
Rb	1.269,21	1.528,14	1.456,56	1.543,82	1.359,52	1.445,63	1.254,82	1.381,07	1.710,82	1.527,88	1.098,93	1.154,72	1.395,14	1.541,00	1.643,84	1.659,31
Sr	0,39	0,43	0,85	1,34	0,37	0,43	0,37	0,27	1,01	0,90	1,16	2,06	1,00	0,64	0,88	0,82
Y	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	0,01	0,02	0,03	25,73	0,02	< D.L.	< D.L.
Zr	1,09	1,47	0,37	0,48	1,03	0,90	1,21	1,21	0,81	0,73	0,49	0,47	6,43	0,67	0,44	0,46
Nb	276,35	324,48	249,06	157,42	313,54	333,14	248,53	291,69	317,70	274,71	162,45	162,99	192,37	274,09	177,30	149,76
Mo	0,02	0,01	< D.L.	< D.L.	0,01	0,03	0,02	< D.L.	0,00	< D.L.						
Sn	463,66	528,67	983,62	1.045,37	566,46	576,46	507,67	537,80	519,19	484,32	312,25	340,43	597,01	554,88	618,53	630,34
Cs	91,71	195,37	749,21	805,51	97,83	95,79	74,46	89,75	179,67	125,85	45,29	104,32	131,78	167,43	204,57	228,47
Ba	0,42	0,43	3,11	2,73	0,44	0,40	0,25	0,60	1,23	1,85	3,78	4,24	6,55	3,44	4,41	4,92
La	< D.L.	0,02	0,04	0,03	< D.L.	< D.L.										
Ce	< D.L.	0,03	0,14	0,07	< D.L.	< D.L.										
Pr	< D.L.	0,03	0,01	< D.L.	< D.L.											
Nd	< D.L.	0,02	0,25	0,02	< D.L.	< D.L.										
Sm	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	0,80	< D.L.	< D.L.	< D.L.					
Eu	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Gd	< D.L.	2,05	0,04	< D.L.	< D.L.											
Tb	< D.L.	0,80	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Dy	< D.L.	0,01	6,08	< D.L.	< D.L.	< D.L.										
Ho	< D.L.	0,71	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Er	< D.L.	1,53	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Tm	< D.L.	0,26	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Yb	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	2,11	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Lu	< D.L.	0,22	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Hf	0,19	0,28	0,26	0,37	0,20	0,19	0,22	0,26	0,22	0,19	0,09	0,08	2,65	0,27	0,13	0,17
Ta	25,76	41,30	136,62	257,64	29,35	33,21	23,82	27,21	30,23	24,22	11,63	12,07	665,93	25,01	11,67	9,79
W	14,05	15,31	23,00	15,70	12,70	13,48	11,00	11,96	10,76	8,78	8,49	10,07	109,02	14,27	13,70	12,00
Tl	6,12	6,98	7,03	6,78	6,37	6,22	5,81	6,05	7,30	6,99	5,03	5,16	7,46	7,44	7,18	7,60
Pb	20,95	21,24	24,28	32,95	20,07	23,20	23,87	20,40	24,55	23,77	20,86	27,76	22,11	15,95	18,73	20,92
Th	< D.L.	0,39	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
U	< D.L.	0,01	0,03	4,64	< D.L.	< D.L.	< D.L.									
K / Rb	66	55	57	54	62	58	67	61	50	55	77	74	59	54	52	52
K / Tl	13.648	11.967	11.781	12.216	13.177	13.495	14.493	13.918	11.611	12.126	16.887	16.461	11.117	11.147	12.012	11.348
Nb / Ta	10,7	7,9	1,8	0,6	10,7	10,0	10,4	10,0	10,5	11,3	14,0	13,5	0,3	11,0	15,2	15,3
Fe / Mn	45	41	66	65	31	30	47	37	52	55	59	61	33	30	28	33
Rb / Tl	207	219	207	228	213	232	216	228	234	219	218	224	187	207	229	218
Al / Ga	1.668	1.456	1.301	1.475	1.643	1.605	1.607	1.545	1.579	1.661	1.648	1.526	1.167	1.289	1.533	1.607

Tabelle 13: Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite von Mitterberg (Teil 1). Der schwarze Balken bedeutet, dass die Probe Nb-Ta-Minerale enthält.

Tabelle 14: Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite von Mitterberg (Teil 2)

Element [%] EMPA	MB0406				MB0407				MB0611				MB0613			
	MU49	MU50	MU51	MU52	MU53	MU54	MU55	MU56	MU57	MU58	MU59	MU60	MU61	MU62	MU63	MU64
<b>K</b>	8,65	8,65	8,59	8,59	8,51	8,51	8,44	8,44	8,17	8,17	8,33	8,33	8,33	8,33	8,30	8,30
<b>Fe</b>	2,05	2,05	2,05	2,05	1,60	1,60	2,00	2,00	1,93	1,93	1,68	1,68	1,51	1,51	1,53	1,53
<b>Al</b>	18,38	18,38	18,37	18,37	18,58	18,58	18,43	18,43	18,60	18,60	18,58	18,58	18,62	18,62	18,76	18,76
<b>Si</b>	21,08	21,08	21,13	21,13	21,22	21,22	20,94	20,94	20,89	20,89	21,08	21,08	20,99	20,99	20,80	20,80
<b>LA-ICP-MS [ppm]</b>																
<b>Li</b>	585,80	616,87	626,39	601,15	800,08	838,44	861,16	786,90	733,61	664,02	551,20	611,92	473,76	469,47	503,36	559,45
<b>Be</b>	30,56	29,92	25,54	29,47	21,85	25,12	31,60	29,78	34,01	34,70	28,39	32,36	42,44	41,76	39,36	38,94
<b>B</b>	126,12	151,51	120,14	162,54	126,68	98,72	95,43	82,73	84,36	91,46	94,31	94,07	148,31	114,99	152,92	263,80
<b>Sc</b>	11,80	13,36	10,21	11,77	6,04	6,23	6,06	5,55	5,87	5,92	5,38	5,42	5,90	6,00	6,59	7,23
<b>Ti</b>	196,03	230,10	140,17	170,81	723,55	808,82	548,28	656,31	537,20	534,77	476,28	422,25	372,65	394,16	375,57	356,21
<b>V</b>	0,30	0,24	0,09	0,05	0,19	0,18	0,24	0,20	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	0,02	0,02	0,04	0,03
<b>Cr</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
<b>Mn</b>	231,73	260,21	207,57	260,72	268,61	265,11	261,73	243,82	709,03	573,61	369,23	362,27	303,10	306,77	331,84	304,19
<b>Co</b>	0,05	0,04	0,03	0,05	< D.L.	0,02	0,04	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,14	< D.L.	0,03	0,02
<b>Ni</b>	0,07	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,11	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,18	0,47	< D.L.	0,20	< D.L.	0,07	0,08	< D.L.
<b>Cu</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,85	0,37	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,38	0,14	0,64	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,16
<b>Zn</b>	217,64	227,14	212,13	274,12	188,08	137,85	224,82	266,96	288,25	271,13	194,34	211,06	206,00	216,50	201,46	178,26
<b>Ga</b>	101,66	115,53	102,33	121,79	71,39	65,35	74,52	71,79	161,34	153,64	139,87	131,71	114,06	121,80	106,90	96,08
<b>Ge</b>	4,14	4,46	4,68	4,99	5,50	5,87	5,64	5,48	5,37	5,01	5,68	6,31	7,22	6,73	6,40	6,46
<b>Rb</b>	986,23	1.110,13	1.115,05	1.119,97	1.682,61	2.005,66	1.707,07	1.456,60	3.209,88	3.013,03	2.323,72	2.791,76	1.731,88	1.604,94	1.809,58	1.688,18
<b>Sr</b>	0,99	1,09	0,56	0,86	2,02	1,79	1,08	1,35	0,11	0,16	0,17	0,25	0,38	0,45	0,94	1,68
<b>Y</b>	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,13	0,04	< D.L.	0,02	< D.L.	0,03	0,07					
<b>Zr</b>	0,63	0,48	0,60	0,78	2,26	0,98	0,52	0,62	1,56	1,43	1,08	1,32	0,78	0,84	0,70	0,48
<b>Nb</b>	140,25	147,64	167,94	191,08	155,57	47,17	70,61	38,85	338,89	333,72	275,78	318,32	420,29	447,18	503,00	400,88
<b>Mo</b>	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02
<b>Sn</b>	282,91	305,99	303,09	421,51	555,09	526,91	554,42	575,82	796,58	717,18	669,51	651,86	641,52	605,19	589,75	514,86
<b>Cs</b>	95,13	142,41	49,10	46,99	248,67	396,47	303,20	306,95	301,65	265,28	220,83	259,81	175,12	154,14	171,78	179,52
<b>Ba</b>	5,90	6,68	3,36	3,81	9,00	8,80	6,32	5,77	0,24	0,27	0,52	0,65	0,19	1,26	1,31	1,51
<b>La</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.										
<b>Ce</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,12	0,03	< D.L.	0,01								
<b>Pr</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
<b>Nd</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,04	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01						
<b>Sm</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,03						
<b>Eu</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.										
<b>Gd</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.					
<b>Tb</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
<b>Dy</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	0,01	< D.L.	0,01	< D.L.							
<b>Ho</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
<b>Er</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.										
<b>Tm</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
<b>Yb</b>	0,01	< D.L.	0,03	0,01	0,03	< D.L.										
<b>Lu</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
<b>Hf</b>	0,10	0,08	0,10	0,14	0,29	0,12	0,08	0,10	0,40	0,41	0,25	0,32	0,17	0,15	0,14	0,12
<b>Ta</b>	7,72	8,66	8,23	13,00	64,48	27,29	30,06	18,93	49,37	51,91	42,16	44,26	45,69	34,36	45,67	41,53
<b>W</b>	9,76	10,77	10,70	13,15	21,14	17,98	18,22	18,14	13,48	13,91	14,45	13,25	16,20	16,83	21,12	18,54
<b>Tl</b>	4,82	5,71	5,14	5,13	7,45	9,23	7,89	8,58	14,89	13,70	11,91	13,10	8,16	8,39	8,47	7,87
<b>Pb</b>	19,88	25,71	16,77	18,93	37,10	41,35	29,94	29,10	13,92	13,32	11,87	16,81	19,39	17,08	25,19	31,17
<b>Th</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,04	< D.L.										
<b>U</b>	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	6,01	1,42	0,08	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,02				
<b>K / Rb</b>	88	78	77	77	51	42	49	58	25	27	36	30	48	52	46	49
<b>K / TI</b>	17.953	15.154	16.716	16.749	11.423	9.220	10.699	9.839	5.487	5.963	6.994	6.359	10.206	9.926	9.802	10.549
<b>Nb / Ta</b>	18,2	17,0	20,4	14,7	2,4	1,7	2,3	2,1	6,9	6,4	6,5	7,2	9,2	13,0	11,0	9,7
<b>Fe / Mn</b>	89	79	99	79	60	60	76	82	27	34	45	46	50	49	46	50
<b>Rb / TI</b>	205	194	217	218	226	217	216	170	216	220	195	213	212	191	214	215
<b>Al / Ga</b>	1.808	1.591	1.795	1.508	2.602	2.843	2.473	2.568	1.153	1.211	1.328	1.411	1.633	1.529	1.755	1.953

Tabelle 15: Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite von Garrach und Hohenwart

Element	GA0101				GA0102				GA0105				GA0109				HW0415				HW0416			
	MU97	MU98	MU99	MU100	MU101	MU102	MU103	MU104	MU105	MU106	MU107	MU108	MU109	MU110	MU111	MU112	MU73	MU74	MU75	MU76	MU77	MU78	MU79	MU80
[%] EMPA																								
K	8,15	8,15	8,30	8,30	8,38	8,38	8,17	8,17	8,15	8,15	8,21	8,21	8,32	8,32	7,97	7,97	8,30	8,30	8,13	8,13	8,19	8,19	8,07	8,07
Fe	1,66	1,66	1,69	1,69	1,78	1,78	1,90	1,90	2,02	2,02	1,95	1,95	1,86	1,86	2,22	2,22	1,49	1,49	1,60	1,60	1,43	1,43	1,22	1,22
Al	18,90	18,90	18,60	18,60	18,61	18,61	18,44	18,44	18,10	18,10	18,27	18,27	18,45	18,45	18,06	18,06	18,85	18,85	18,62	18,62	18,63	18,63	18,28	18,28
Si	21,03	21,03	21,13	21,13	21,27	21,27	21,13	21,13	21,27	21,27	21,03	21,03	21,27	21,27	21,08	21,08	20,94	20,94	20,75	20,75	20,94	20,94	20,89	20,89
LA-ICP-MS [ppm]																								
Li	553,54	526,36	520,37	475,73	561,75	602,65	944,24	861,85	714,41	764,91	822,03	963,43	934,37	832,36	810,87	835,99	658,45	985,40	693,14	770,48	522,17	585,11	1.139,68	1.181,25
Be	32,58	27,02	36,64	34,59	42,57	43,56	26,29	32,96	35,57	40,08	32,80	29,71	31,23	27,49	49,71	48,33	41,63	46,24	37,14	46,48	19,69	18,08	21,36	18,97
B	144,40	107,15	203,72	206,95	149,68	140,38	105,28	121,48	142,79	173,85	99,82	162,51	147,86	138,56	153,45	137,74	298,97	285,60	308,37	319,28	319,73	251,87	225,46	222,09
Sc	3,80	3,77	3,70	3,94	3,90	4,10	7,07	7,18	5,79	6,52	6,36	4,86	4,02	3,82	4,65	5,01	4,16	3,52	3,69	3,95	4,04	3,68	4,49	3,90
Ti	555,95	655,51	334,23	290,40	814,89	745,44	1.031,77	1.044,95	1.122,78	1.182,14	997,96	1.119,80	847,44	886,16	924,23	926,77	201,46	186,04	145,23	103,36	186,22	151,26	275,98	283,33
V	1,61	0,33	0,15	0,28	0,08	0,03	0,04	0,06	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,08	0,06	0,13	0,17	0,07	0,50	0,50	0,17	0,90	0,91
Cr	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,68	< D.L.	0,52	0,58	< D.L.															
Mn	338,21	290,35	572,69	514,00	328,10	329,77	364,40	434,37	366,78	437,70	360,79	443,43	473,83	394,46	528,15	509,86	510,02	390,23	463,94	425,41	168,60	137,55	164,64	160,75
Co	0,38	0,43	0,42	0,35	0,43	0,34	0,41	0,31	0,28	0,30	0,20	0,32	0,32	0,37	0,36	0,38	< D.L.	0,02	0,02	0,02	0,35	0,35	0,38	0,41
Ni	0,61	0,88	0,48	0,34	1,32	0,46	0,32	0,39	0,18	0,13	0,05	0,08	0,21	0,19	0,44	0,61	< D.L.	0,32	0,07	0,10	0,23	0,20	0,31	0,64
Cu	0,21	0,24	< D.L.	< D.L.	0,67	0,18	0,16	< D.L.	0,18	0,24	< D.L.	0,20	< D.L.	0,31	0,19	< D.L.	< D.L.	0,29	0,31	1,91				
Zn	204,15	189,13	340,35	303,11	150,83	185,41	291,36	277,66	219,77	261,21	234,06	283,39	266,36	229,89	228,28	197,19	323,46	746,69	255,94	240,51	209,29	153,54	72,71	74,94
Ga	122,52	107,51	115,42	103,79	124,27	108,23	101,31	100,94	95,59	114,31	103,26	108,42	98,23	108,18	111,58	105,10	122,58	130,68	119,11	116,05	122,51	115,95	133,69	150,92
Ge	3,50	2,36	4,02	4,04	3,37	3,27	2,48	2,36	2,52	2,66	2,72	2,57	2,89	2,46	2,58	2,81	7,32	6,84	5,90	9,33	5,22	5,50	6,64	6,84
Rb	1.466,20	864,00	3.048,74	2.840,08	1.436,04	1.481,26	983,67	1.068,50	1.093,24	1.213,71	1.065,17	1.121,03	1.493,67	1.232,81	1.471,32	1.468,78	2.881,73	2.137,33	3.121,47	3.920,95	2.725,45	2.373,94	4.364,99	5.065,48
Sr	1,56	1,45	0,64	0,58	1,95	1,45	1,67	1,90	1,48	1,84	1,54	1,23	0,91	1,01	1,43	1,52	0,24	0,41	0,25	0,26	1,06	0,79	4,66	4,64
Y	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	0,02	0,01	< D.L.	0,03	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01											
Zr	0,65	0,44	0,49	0,50	0,94	0,92	0,61	0,60	0,61	0,59	0,59	0,77	0,71	0,61	0,69	0,78	0,42	0,85	0,50	0,55	0,44	0,54	0,34	0,39
Nb	222,57	131,34	297,70	297,86	167,61	172,66	107,02	112,42	117,07	112,96	169,70	125,95	150,83	137,14	145,61	138,87	402,37	232,57	256,87	274,23	196,04	170,60	254,03	206,58
Mo	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	0,00	< D.L.	< D.L.	< D.L.													
Sn	293,66	136,93	337,76	321,80	236,65	197,84	101,88	137,26	163,88	143,77	161,70	121,67	144,19	148,89	132,19	126,13	893,94	1.040,15	605,48	979,06	586,85	551,35	588,81	692,92
Cs	91,90	17,37	133,43	122,27	59,51	29,24	14,76	13,98	16,68	18,82	25,17	18,19	22,77	20,90	21,36	34,26	202,48	158,19	252,46	413,72	235,91	200,36	406,52	830,43
Ba	21,76	48,58	1,85	1,44	25,15	17,56	79,51	80,50	46,50	53,24	74,83	30,93	12,98	23,13	22,47	27,76	0,42	0,34	0,67	0,37	12,16	4,63	12,59	9,33
La	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	< D.L.	0,03	< D.L.	0,01	< D.L.										
Ce	< D.L.	0,02	0,02	< D.L.	0,02	0,02	0,02	0,01	< D.L.	0,03	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02						
Pr	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Nd	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.	0,02	0,02	< D.L.	0,03	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.				
Sm	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.											
Eu	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01	< D.L.								
Gd	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	0,02	< D.L.	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.						
Tb	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Dy	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.															
Ho	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Er	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Tm	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Yb	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02	< D.L.										
Lu	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Hf	0,36	0,08	0,10	0,12	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,07	0,11	0,08	0,11	0,10	0,11	0,12	0,15	0,34	0,11	0,25	0,09	0,12	0,14	0,15
Ta	70,32	10,76	24,10	22,43	23,02	10,34	5,70	6,12	7,83	6,85	32,99	8,62	7,15	6,32	7,19	7,15	68,25	79,58	21,14	65,69	22,84	15,40	28,61	27,27
W	9,62	11,94	4,06	3,57	10,37	9,47	14,41	14,99	7,52	7,87	13,90	6,23	6,68	7,33	7,63	7,62	10,59	9,80	9,39	9,99	8,34	7,11	7,13	6,87
Tl	9,48	5,79	16,55	15,24	7,99	7,45	4,88	5,19	6,00	6,47	6,11	6,31	7,73	6,66	6,02	7,19	13,07	11,86	15,78	20,15	14,62	14,00	20,26	26,59
Pb	23,33	20,08	20,29	19,46	25,60	27,26	23,07	25,56	19,87	24,44	25,39	19,56	23,55	20,87	24,39	22,90	18,97	21,02	17,23	22,09	17,87	17,92	25,25	24,16
Th	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01	< D.L.																
U	0,04	0,12	0,05	< D.L.	0,15	0,04	< D.L.	0,02	0,05	0,01	< D.L.	0												

Tabelle 16: Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite von Lachtal (Teil 1)

Element	LA0609				LA0610				LA0101				LA0102				LA0203			
	MU65	MU66	MU67	MU68	MU69	MU70	MU71	MU72	MU129	MU130	MU131	MU132	MU133	MU134	MU135	MU136	MU137	MU138	MU139	MU140
<b>[%] EMPA</b>																				
K	7,98	7,98	8,38	8,38	8,27	8,27	8,14	8,14	8,42	8,42	8,45	8,45	8,38	8,38	8,51	8,51	8,30	8,30	8,41	8,41
Fe	1,06	1,06	1,65	1,65	1,19	1,19	1,15	1,15	0,79	0,79	0,72	0,72	0,99	0,99	0,98	0,98	1,46	1,46	1,36	1,36
Al	19,52	19,52	18,77	18,77	19,25	19,25	19,25	19,25	18,99	18,99	19,16	19,16	18,75	18,75	18,88	18,88	18,37	18,37	18,51	18,51
Si	21,03	21,03	21,13	21,13	20,94	20,94	21,03	21,03	21,32	21,32	21,27	21,27	21,18	21,18	21,41	21,41	21,41	21,41	21,22	21,22
<b>LA-ICP-MS</b>																				
<b>[ppm]</b>																				
Li	275,48	271,61	233,16	228,07	285,88	276,98	286,70	265,35	585,82	568,52	584,46	579,98	669,49	672,05	681,48	686,68	433,38	464,83	374,09	452,10
Be	28,38	31,28	21,80	22,16	37,41	26,65	48,16	40,47	32,87	34,65	43,40	40,90	31,04	31,11	28,05	29,19	32,97	32,28	25,95	30,30
B	529,92	623,05	262,65	217,94	324,10	300,84	351,25	293,80	520,14	470,95	396,27	422,80	271,30	274,92	290,72	281,49	211,91	226,46	224,07	248,02
Sc	4,44	4,60	12,80	13,45	7,40	7,21	4,59	3,93	6,18	6,04	6,61	6,51	12,18	11,58	6,97	8,55	22,26	21,82	12,39	14,31
Ti	49,21	25,04	138,50	224,88	115,83	136,03	160,54	169,25	1.309,96	1.415,92	1.359,32	1.228,38	2.160,99	2.086,52	1.596,52	1.661,37	2.533,55	2.412,39	1.812,90	2.155,30
V	0,10	0,05	0,02	< D.L.	0,17	0,10	0,99	2,40	< D.L.	0,04	< D.L.	< D.L.	0,15	0,05	< D.L.	0,05	3,29	3,01	0,06	0,08
Cr	0,51	< D.L.																		
Mn	94,52	90,23	92,21	99,97	311,27	363,15	399,82	331,89	362,18	406,87	467,06	462,74	193,77	191,83	210,17	249,70	391,05	387,36	391,48	425,02
Co	0,05	0,04	0,09	0,09	0,04	0,06	0,08	0,08	0,11	0,15	0,12	0,10	0,23	0,18	0,23	0,20	0,51	0,49	0,45	0,47
Ni	0,11	0,22	< D.L.	0,11	< D.L.	0,07	0,11	< D.L.	0,37	0,25	0,33	0,29	2,73	1,84	0,79	0,58	1,10	0,77	0,58	0,32
Cu	< D.L.	< D.L.	0,15	< D.L.	0,17	< D.L.	0,27	0,21	0,26	0,24	0,18	0,25	0,30	0,29	0,27	0,35				
Zn	78,45	71,93	136,19	161,21	227,84	244,08	231,59	194,97	230,26	272,17	262,43	266,80	185,27	181,61	186,89	213,46	275,73	295,18	293,55	266,44
Ga	63,54	57,38	116,80	106,12	92,80	100,23	124,34	117,36	166,51	160,52	164,59	168,26	171,89	170,60	181,21	176,48	138,33	140,07	158,01	144,06
Ge	7,73	8,27	3,77	3,26	6,76	6,13	6,56	5,64	6,37	8,13	6,28	6,76	4,93	4,79	6,38	5,75	4,10	4,48	4,57	4,23
Rb	1.931,34	2.072,43	1.338,44	1.226,80	2.424,36	2.526,44	3.558,72	3.077,25	3.430,49	3.597,88	4.280,84	4.277,32	2.391,72	2.443,13	3.064,78	2.816,84	1.998,54	2.007,03	1.876,70	2.003,53
Sr	1,54	1,23	1,17	1,19	0,29	0,22	0,27	0,30	0,66	0,68	0,67	0,90	0,94	0,90	0,75	0,79	1,49	1,48	1,07	1,37
Y	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01	0,02	0,01	< D.L.	0,06	0,05	0,01	< D.L.	0,01	0,01				
Zr	0,26	0,27	0,78	0,88	0,29	0,30	0,51	0,49	0,93	1,17	0,59	0,49	1,25	1,26	1,23	1,11	1,14	1,04	0,93	1,01
Nb	194,00	202,67	161,53	139,98	138,29	129,53	236,77	219,15	204,33	235,22	218,58	224,03	318,04	317,86	340,56	356,89	209,18	209,66	210,35	234,64
Mo	0,01	< D.L.	< D.L.	0,04	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Sn	300,91	327,88	264,13	243,61	560,22	603,37	654,66	627,20	834,75	1.165,52	762,35	749,57	472,50	467,63	688,20	625,32	328,90	357,28	400,83	377,09
Cs	131,18	130,02	51,67	45,79	276,57	291,14	681,19	658,25	249,24	337,30	632,80	613,01	122,54	131,12	195,83	165,26	68,96	77,69	75,92	80,97
Ba	18,13	11,92	16,43	7,98	0,49	0,44	0,29	0,40	5,26	8,09	6,57	6,72	10,34	8,61	4,56	8,87	43,22	37,98	18,53	22,62
La	< D.L.	0,02	0,03	< D.L.	< D.L.															
Ce	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02	0,03	< D.L.	< D.L.											
Pr	< D.L.																			
Nd	< D.L.	0,03	0,03	< D.L.	< D.L.															
Sm	< D.L.																			
Eu	0,01	< D.L.	0,01	0,01	< D.L.															
Gd	< D.L.	0,03	< D.L.	0,02																
Tb	< D.L.																			
Dy	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.														
Ho	< D.L.																			
Er	< D.L.																			
Tm	< D.L.																			
Yb	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	0,02	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.											
Lu	< D.L.																			
Hf	0,08	0,09	0,13	0,15	0,08	0,11	0,22	0,22	0,19	0,28	0,16	0,16	0,20	0,24	0,25	0,25	0,17	0,16	0,11	0,16
Ta	33,17	37,23	9,58	7,79	83,09	76,18	76,26	63,59	27,83	43,98	39,27	41,47	20,14	19,59	29,69	27,26	12,04	12,23	11,07	13,61
W	25,04	25,01	21,68	18,40	11,68	13,21	12,71	13,58	8,88	13,52	9,57	10,07	17,95	17,45	20,69	20,53	19,98	19,73	18,56	18,80
Tl	8,73	9,07	5,58	5,46	11,73	12,19	16,73	16,29	18,94	20,03	22,78	21,51	11,56	11,44	15,22	13,85	9,17	9,18	11,11	9,76
Pb	29,01	28,82	15,31	13,86	18,00	16,97	22,18	21,34	25,79	29,40	23,57	25,18	13,39	13,19	15,66	14,59	13,26	14,51	17,30	15,98
Th	< D.L.	0,02	0,04	< D.L.	0,04	0,05	0,01	< D.L.												
U	< D.L.	0,02	< D.L.	0,02	0,03	0,03	< D.L.	0,87	1,21	0,11	0,01									
<b>K / Rb</b>	41	39	63	68	34	33	23	26	25	23	20	20	35	34	28	30	42	41	45	42
<b>K / TI</b>	9.140	8.798	15.012	15.342	7.052	6.786	4.867	4.998	4.444	4.202	3.710	3.929	7.249	7.325	5.589	6.142	9.046	9.036	7.573	8.621
<b>Nb / Ta</b>	5,8	5,4	16,9	18,0	1,7	1,7	3,1	3,4	7,33	5,3	5,6	5,4	15,8	16,2	11,5	13,1	17,4	17,1	19,0	17,2
<b>Fe / Mn</b>	112	117	178	165	38	33	29	35	22	19	15	16	51	52	46	39	37	38	35	32
<b>Rb / TI</b>	221	228	240	225	207	207	213	189	181	180	188	199	207	214	201	203	218	219	169	205
<b>Al / Ga</b>	3.072	3.402	1.607	1.768	2.074	1.921	1.548	1.640	1.141	1.183	1.164	1.139	1.091	1.099	1.042	1.070	1.328	1.311	1.172	1.285

Tabelle 17: Haupt- und Spurenelementanalysen der Muskovite von Lachtal (Teil 2)

Element	LA0204				LA0205				LA0306				LA0407				LA0508			
	MU141	MU142	MU143	MU144	MU81	MU82	MU83	MU84	MU85	MU86	MU87	MU88	MU89	MU90	MU91	MU92	MU93	MU94	MU95	MU96
<b>[%] EMPA</b>																				
K	8,25	8,25	7,77	7,77	8,39	8,39	8,58	8,58	8,41	8,41	8,42	8,42	8,50	8,50	8,49	8,49	8,30	8,30	8,21	8,21
Fe	1,41	1,41	1,30	1,30	1,25	1,25	1,26	1,26	1,20	1,20	1,27	1,27	1,20	1,20	1,17	1,17	1,20	1,20	1,28	1,28
Al	18,34	18,34	18,53	18,53	18,88	18,88	19,04	19,04	18,46	18,46	18,55	18,55	18,91	18,91	18,94	18,94	18,84	18,84	18,95	18,95
Si	21,36	21,36	21,27	21,27	21,13	21,13	21,03	21,03	21,08	21,08	21,27	21,27	21,22	21,22	21,41	21,41	21,36	21,36	21,46	21,46
<b>LA-ICP-MS</b>																				
<b>[ppm]</b>																				
Li	542,51	526,80	513,68	575,46	334,06	296,50	587,54	804,86	580,67	623,67	590,63	625,13	568,62	571,03	653,10	554,15	285,58	364,36	489,64	543,43
Be	33,44	32,74	31,98	34,30	45,48	43,90	30,78	36,16	62,88	61,60	56,66	54,52	44,89	53,31	68,83	51,93	29,58	30,33	39,66	44,66
B	222,67	203,25	242,06	229,87	340,57	423,86	279,49	365,81	390,69	327,97	336,16	373,10	356,02	335,01	356,91	298,91	293,65	431,04	328,18	327,85
Sc	22,42	20,44	19,56	20,50	12,22	10,45	10,02	11,23	18,42	14,15	7,70	6,75	5,94	6,01	7,76	6,01	4,97	5,15	6,42	6,40
Ti	2.236,70	2.072,84	1.839,77	1.929,57	779,57	642,07	491,59	417,74	1.664,00	1.893,19	1.199,41	1.984,10	668,23	672,46	658,62	551,28	875,28	1.434,67	1.658,32	1.508,28
V	2,96	4,07	0,32	0,26	0,10	0,06	0,04	0,18	28,00	12,53	1,23	0,64	< D.L.	0,02	0,04	< D.L.	0,09	4,54	0,10	0,16
Cr	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,50	< D.L.	< D.L.	< D.L.	3,45	1,31	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	1,27	< D.L.	< D.L.	0,48	1,12	< D.L.
Mn	281,54	259,58	254,78	268,01	454,89	431,62	406,69	405,32	588,75	633,55	472,59	569,67	742,66	788,92	771,91	684,67	282,73	414,07	411,67	470,40
Co	0,39	0,41	0,31	0,34	0,18	0,14	0,13	0,11	0,47	0,46	0,21	0,27	0,12	0,12	0,12	0,15	0,69	0,72	0,70	0,74
Ni	0,37	0,23	0,13	0,17	0,08	0,08	0,07	0,12	0,24	0,34	0,13	0,13	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,62	0,62	0,68	0,50
Cu	0,30	< D.L.	0,27	0,56	< D.L.	0,17	0,25	< D.L.	0,39	< D.L.										
Zn	189,92	183,79	164,06	156,84	238,50	212,53	197,02	179,25	167,31	130,87	176,04	211,97	212,74	218,22	147,44	219,46	< D.L.	150,11	117,67	150,01
Ga	143,86	127,92	142,34	149,44	110,83	112,39	119,70	114,37	117,90	128,27	101,77	105,85	125,93	120,04	122,15	104,77	121,74	131,17	163,13	145,40
Ge	4,32	3,87	4,37	4,32	3,19	4,45	4,52	5,98	4,64	4,27	5,21	4,77	4,60	4,66	5,99	5,22	5,79	5,86	5,60	5,88
Rb	1.904,60	1.701,40	1.788,26	1.835,41	3.087,27	2.986,74	2.947,59	2.995,68	1.936,18	1.780,46	2.032,21	2.187,57	1.825,38	2.158,78	2.096,45	2.059,35	3.096,52	3.260,57	2.497,43	2.730,01
Sr	1,54	1,30	1,26	1,37	5,20	0,80	0,52	0,84	1,95	1,26	1,15	0,80	0,49	0,58	0,85	0,58	0,48	0,53	1,02	0,79
Y	0,02	< D.L.	0,01	0,01	< D.L.	< D.L.	0,02	0,02	0,02	< D.L.	0,03	0,04	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.
Zr	1,07	0,94	0,98	1,12	0,43	0,35	0,30	0,42	0,73	1,07	0,69	0,87	0,56	0,66	4,10	0,64	0,63	0,64	1,01	0,92
Nb	197,05	184,86	181,54	190,24	155,72	194,40	88,84	94,88	226,75	231,68	267,27	267,39	228,28	268,31	229,41	186,89	352,31	474,83	318,94	395,85
Mo	< D.L.	0,04	0,01	0,01	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,04	< D.L.	< D.L.	0,09	< D.L.								
Sn	336,08	309,14	332,96	358,89	849,24	788,96	778,61	741,60	477,75	445,93	486,43	452,08	446,51	487,00	479,88	427,67	640,72	708,00	591,18	609,40
Cs	88,11	71,75	83,87	75,02	1.276,46	1.278,90	460,36	1.132,90	125,52	82,53	219,82	146,16	231,29	232,71	165,58	142,32	295,79	393,92	175,59	201,98
Ba	38,38	33,03	26,29	27,23	129,01	4,68	2,74	3,37	36,98	27,16	17,72	8,30	5,03	5,71	6,44	4,33	12,65	13,35	13,62	14,10
La	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	0,04	< D.L.	0,02	< D.L.												
Ce	< D.L.	< D.L.	0,02	0,01	0,03	< D.L.	0,05	< D.L.												
Pr	< D.L.																			
Nd	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.	0,03	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.										
Sm	< D.L.																			
Eu	< D.L.	< D.L.	0,01	0,01	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.							
Gd	< D.L.	0,02	< D.L.																	
Tb	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,05	< D.L.															
Dy	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,02	< D.L.	0,01	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.										
Ho	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.															
Er	< D.L.	0,02	< D.L.																	
Tm	< D.L.																			
Yb	< D.L.	0,01	< D.L.	0,01	0,02	< D.L.	< D.L.	< D.L.	< D.L.											
Lu	0,04	< D.L.	< D.L.	0,01	< D.L.															
Hf	0,17	0,15	0,18	0,18	0,09	0,07	0,17	0,19	0,13	0,19	0,11	0,17	0,11	0,10	0,46	0,12	0,18	0,14	0,17	0,25
Ta	11,29	10,21	10,61	11,39	14,83	20,43	47,24	127,26	20,33	25,44	44,40	19,92	16,38	18,09	16,15	13,97	31,62	34,77	27,97	36,67
W	18,88	17,90	17,53	18,09	11,89	14,40	27,87	15,38	20,40	18,30	15,02	15,76	18,34	18,45	21,86	16,74	18,29	20,24	18,27	20,46
Tl	8,32	7,45	8,43	8,85	15,03	14,79	14,11	14,41	9,12	8,54	10,25	10,32	10,58	10,66	10,90	10,44	14,55	16,22	10,94	12,10
Pb	12,54	11,42	13,34	13,60	24,97	20,24	15,01	24,42	19,08	13,77	20,65	18,92	13,01	15,85	21,32	17,80	13,90	12,05	12,30	13,29
Th	< D.L.	0,17	< D.L.																	
U	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	< D.L.	0,02	< D.L.	0,02	< D.L.	0,05	< D.L.	0,01	2,32	< D.L.	< D.L.	< D.L.	0,03	< D.L.
<b>K / Rb</b>	43	49	43	42	27	28	29	29	43	47	41	38	47	39	40	41	27	25	33	30
<b>K / Ti</b>	9.921	11.079	9.216	8.779	5.581	5.671	6.081	5.954	9.218	9.844	8.212	8.156	8.031	7.971	7.789	8.132	5.702	5.115	7.500	6.781
<b>Nb / Ta</b>	17,5	18,1	17,1	16,7	10,5	9,5	1,9	0,7	11,2	9,1	6,0	13,4	13,9	14,8	14,2	13,4	11,1	13,7	11,4	10,8
<b>Fe / Mn</b>	50	54	51	48	28	29	31	31	20	19	27	22	16	15	15	17	43	29	31	27
<b>Rb / Ti</b>	229	228	212	207	205	202	209	208	212	208	198	212	173	203	192	197	213	201	228	226
<b>Al / Ga</b>	1.275	1.433	1.302	1.240	1.704	1.680	1.590	1.665	1.566	1.439	1.823	1.753	1.501	1.575	1.551	1.808	1.548	1.436	1.162	1.303