



**Untersuchung geochemischer Anomalien (Niob,
Tantal, SEE) in Bachsedimenten des
Südböhmischen Batholiths**

Masterarbeit

Philipp Andreas LEGERER, BSc

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
der Studienrichtung Angewandte Geowissenschaften an der
Montanuniversität Leoben

eingereicht am

Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik,
Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr.phil. Johann G. RAITH

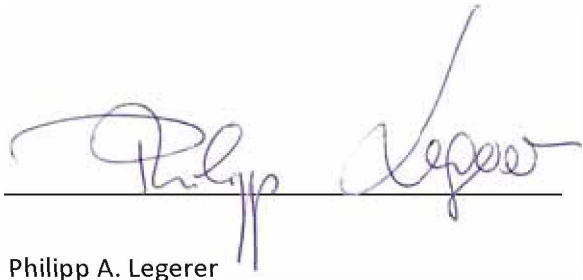
Leoben, November 2014

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.

A handwritten signature in blue ink, reading "Philipp Legerer", written over a horizontal line. The signature is cursive and stylized.

Philipp A. Legerer

Leoben, November 2014

Danksagung

Mein erster Dank gilt all jenen Personen, welche maßgeblich zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Meinem Betreuer Herrn Univ.-Prof. Dr. phil. Johann G. Raith für seine fachliche Unterstützung und Hilfe bei diesem Projekt, im Rahmen dessen diese Arbeit entstanden ist.

Herrn Dr. Hassan Neinavaie für seine professionelle Einschulung in die Bachsediment-Probenahme, sowie der Vermittlung seines unschätzbaren Wissens in der Auflichtmikroskopie und seine freundschaftliche Unterstützung in geochemischen Fragen.

Frau Dr. Federica Zaccarini für ihren unermüdlichen Einsatz an der Elektronenstrahlmikrosonde, selbst an Wochenenden. Herrn Helmut Mühlhans für seine Einweisung und Hilfe an der Elektronenstrahlmikrosonde, sowie für seine letzten Meisterstücke an polierten Dünnschliffen.

Ein großer Dank ergeht auch an all jene, welche mich durch wichtige Abschnitte meiner Studienzeit begleitet haben:

Meinen StudienkollegInnen für deren motivierenden und freundschaftlichen Beistand, besonders Stefan Ahrer für die angeregten, fachlichen Diskussionen zu den verschiedensten Themen unserer Masterarbeiten.

Herrn DI Klaus J. Langthaler und der Firma ILF für die Möglichkeit jahrelang interessante Projekte mitzubetreuen.

Mein größter Dank gilt jedoch meiner Mutter für ihren unentwegten Glauben an mich, sowie meinen Geschwistern und meinem Vater für ihre fortwährende Unterstützung.

Besonders danken möchte ich meiner Freundin Elke, die mir mit Liebe und Verständnis stets zur Seite stand.

Mut steht am Anfang des Handelns, Glück am Ende (Demokrit)

Zusammenfassung

Im Zuge dieser Masterarbeit und im Rahmen des FFG Projektes „Coltan in Österreich“ wurden an Bachsedimenten und eluvialem Verwitterungsmaterial (Granitgrus) detaillierte mineralogische und geochemische Untersuchungen durchgeführt. Hauptziel der Arbeit war die Klärung der Frage an welche Mineralphasen Niob (Nb), Tantal (Ta) und ihre Begleitelemente (z.B. Seltene Erden (SEE)) gebunden sind und inwieweit sie indikativ für das mögliche Auftreten von Nb-Ta-Mineralisationen sind.

Die im nordöstlichen Mühlviertel (Sandl, OÖ) und im westlichen Waldviertel (Weitra, NÖ) gelegenen Arbeitsgebiete wurden anhand bekannter geochemischer Anomalien (Geochemischer Atlas von Österreich und diverse Folgeprojekte) ausgewählt. Die Beprobung der Bachsedimente erfolgte auf zwei unterschiedliche Arten, Feinfraktion und Schwermineralvorkonzentrat (SM). Zusätzlich wurden drei Proben von Granitgrus (GG) untersucht.

Die beiden Arbeitsgebiete liegen im Bereich des Südböhmischen Plutons. Hier stellt der Weinsberger Granit die dominante Lithologie dar. Der lokal auftretende Weinsberger Granit unterscheidet sich jedoch petrographisch und geochemisch maßgeblich von weiteren Vorkommen desselben Granits. Neben dem normalen Granittyp treten lokal höher differenzierte, SiO₂-reichere und stärker peraluminöse Granite (Plochwald Granit), sowie dunklere feinkörnige amphibolführende Biotitgranite mit intermediären Einschaltungen (Dioritschollen) auf. Zusätzlich kommen Bereiche mit Schollen aus Granat-Cordierit-Biotit-Gesteinen („Pseudokinzingite“) vor.

Mikroskopische Untersuchungen und Mineral Liberation Analysis (MLA) konnten keine eigenständigen Nb-Ta-Mineralphasen feststellen. Ilmenit stellt mit einem Modalbestand von durchschnittlich 71 Gew% (27 - 84 Gew%) das Hauptmineral in SM dar, GG zeigt 14 Gew%. Die Durchschnittsgehalte von Apatit für SM bzw. GG liegen bei 6 bzw. 63 Gew%, jene von Granat bei 7 bzw. 0,5 Gew%. Chemische Analysen (ICP-MS und ICP-ES) bestätigten allerdings die bekannten Anomalien mit Werten von 11 – 49 ppm Nb und 0,9 – 4,3 ppm Ta für die Feinfraktion-Proben bzw. 420 – 760 ppm Nb und 40 – 105 ppm Ta für die Schwermineralkonzentrate und Granitgruse.

Die an Titanmineralen (Ilmenit, TiO₂-Minerale) durchgeführten Messungen mittels Elektronenstrahlmikrosonde (EMS) ergaben Durchschnittsgehalte je Probe von 740 – 1535 ppm Nb₂O₅ und 690 – 1205 ppm Ta₂O₅. Diese Titanphasen stellen damit die Hauptträger von Nb und Ta dar, wobei Ilmenit bei weitem das am häufigsten auftretende Schwermineral ist. Außerdem konnten erhebliche Nb- und Ta-Konzentrationsunterschiede innerhalb der einzelnen Körner, sowie niedrige Nb/Ta-Verhältnisse (ca. 0,5 – 2) festgestellt werden.

Die Summe der SEE-Konzentrationen variieren für die Feinfraktion im Bereich von 355 – 3780 ppm, für die Schwermineralkonzentrate von 5200 – 15350 ppm (Sandl) bzw. 6790 – 27500 ppm (Weitra) und für die Granitgruse von 11450 – 22290 ppm. Als wichtigste SEE-Hauptträgerminerale wurden Xenotim, Monazit und Apatit identifiziert. Die Anreicherung an Schweren SEE in Schwermineralkonzentraten in Sandl ist vor allem auf Xenotim zurückzuführen.

Die beiden untersuchten geochemischen Anomalien sind nicht indikativ für Nb-Ta-Mineralisationen, sondern stellen regional erhöhte Konzentrationen von Niob, Tantal und SEE in den Gesteinen des Einzugsgebietes der Bachsedimente dar.

Abstract

As part of a master thesis within the context of the FFG project “Coltan in Österreich” stream sediments and granite eluvial material (“Granitgrus”) were sampled and mineralogically and chemically analysed. The main aims of this study were to clarify in which mineral phases niobium, tantalum and associated elements (REE, etc.) are bound and to figure out their provenance. It was of special interest to clarify if these anomalies are indicative for Nb-Ta mineralisation or not.

On the basis of known geochemical anomalies (Geochemical Atlas of Austria and follow-up projects) detailed investigations were performed in the northeastern Mühlviertel (Sandl, Upper Austria) and in the western Waldviertel (Weitra, Lower Austria). Two different media were sampled, i.e. fine fraction and heavy mineral concentrates of stream sediments (SM). Additionally, three „Granitgrus“ (GG) samples were investigated.

The two study areas are located in the Southbohemian Batholith, which is dominated by Weinsberg Granite. The local variety of the Weinsberg Granite, however, differs petrographically and geochemically from other granites of the same type. In addition to the main granite type granite-cordierite-biotite-rocks, („Pseudo-Kinzingite“) are present. More differentiated, more felsic and more peraluminous granites (Plochwald granite) and dark fine-grained amphibole-bearing biotite granites with intercalations of intermediate plutonic rocks (diorite lenses) are minor lithologies present in the study area.

Microscopic investigation and Mineral Liberation Analysis (MLA) did not reveal any distinct niobium or tantalum minerals. MLA analyses of mineral concentrates revealed 27 to 84 wt% ilmenite (average 71 wt%) and an average of 14 wt% for GG. The average wt% of apatite was 6 resp. 63 for SM resp. GG and 7 resp. 0,5 wt% for garnet. Using ICP-ES and ICP-MS the geochemical stream sediment anomalies could be confirmed with 11 – 49 ppm Nb and 0,9 – 4,3 ppm Ta for the fine fraction-samples and 420 – 760 ppm Nb and 40 – 105 ppm Ta for the heavy mineral concentrate-samples.

Investigations on titanium minerals (ilmenite, TiO_2 minerals) with the electron microprobe (EPMA) revealed mean values per sample of 740 - 1535 ppm Nb_2O_5 and 690 - 1205 ppm Ta_2O_5 . These mineral phases are the exclusive carriers of Nb and Ta, ilmenite being by far the most abundant one. Moreover considerable within-grain variations of Nb and Ta concentrations in Ti-minerals were determined as well as low Nb/Ta ratios (about 0,5 – 2).

Total REE concentrations vary for the fine fraction from 355 – 3780 ppm and for the heavy mineral concentrates from 5200 – 15350 ppm (Sandl) resp. 6790 – 27500 ppm (Weitra) and for Granitgrus from 11450 – 22290 ppm. The main carriers of REE are xenotime, monazite and apatite. The enrichment of HREE in concentrates from Sandl is due to the presence of higher amounts of xenotime.

An important conclusion of this study is that the studied geochemical anomalies do not indicate distinct Nb-Ta-mineralisations but represent higher regional concentrations of niobium, tantalum and SEE.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
2	Arbeitsgebiet	10
2.1	Geographischer Überblick	10
2.2	Geologischer Überblick	11
2.2.1	Südböhmischer Pluton	14
2.2.2	Weinsberger Granit	15
2.2.3	Geologie des Beprobungsgebietes	17
3	Methodik	20
3.1	Probenahme	20
3.1.1	Probenahme Feinfraktion (SF)	21
3.1.2	Probenahme Schwermineralvorkonzentrat (SM)	22
3.1.3	Probenahme Granitgrus (GG)	23
3.2	Aufbereitung	23
3.2.1	Schweretrennung	24
3.2.2	Dünnschliff Präparation	25
3.2.3	Aufmahlung	25
3.3	Mikroskopische Untersuchung	26
3.4	Geochemische Analytik	26
3.5	Raman-Spektroskopie	26
3.6	Elektronenstrahlmikrosondenanalyse (EMS)	26
3.7	Mineral Liberation Analysis (MLA)	31
3.7.1	Analyse- und Auswerteverfahren	31
3.7.2	Eigene Auswertung	35
3.7.3	Messbedingungen MLA	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Mineralogie der Schwermineralkonzentrate	37
4.1.1	Ilmenit	39
4.1.2	Titanoxide (Rutil, Anatas, Brookit)	46
4.1.3	Zirkon	48
4.1.4	Monazit und Xenotim	48
4.1.5	Granat	48
4.2	MLA Analysen	50

4.2.1	<i>Modalbestand und Beschreibung der Mineralphasen der SM- und GG-Konzentrate</i>	50
4.3	Elektronenstrahlmikrosonden-Analytik (EMS)	66
4.3.1	<i>Nachweis von Niob und Tantal</i>	66
4.3.2	<i>Chemische Zusammensetzung von Ilmenit</i>	68
4.3.3	<i>Mineralchemie ausgewählter Körner</i>	70
4.3.4	<i>Elementsubstitution in Ilmenit</i>	77
4.3.5	<i>Nb- und Ta-Konzentration und Nb/Ta Verhältnis in Ilmenit</i>	83
4.3.6	<i>Histogramme zu Elementverteilungen im Ilmenit</i>	90
4.4	Geochemie	93
4.4.1	<i>Hauptelemente</i>	93
4.4.2	<i>Niob Tantal</i>	97
4.4.3	<i>Seltenerdelemente</i>	101
4.4.4	<i>Seltenerdelemente SM und GG</i>	104
5	Diskussion	109
5.1	Niob und Tantal in Bachsedimenten	109
5.2	MLA	110
5.3	EMS	112
5.4	Geochemische Analytik	113
6	Literaturverzeichnis	115
7	Appendix	119

1 Einleitung

Diese Masterarbeit versteht sich als Teil des FFG Projektes „Optimierung der Prospektionsmethodik zur Suche nach primären Coltan-Lagerstätten in Österreich“ dessen Ziel eine Verbesserung des geologischen Kenntnisstandes und Potentials von Niob-Tantal (Nb-Ta) Rohstoffen (Coltan) in Österreich zugrunde liegt.

Neben den in der hier vorliegenden Masterarbeit untersuchten geochemischen Niob-Tantal Anomalien in OÖ und NÖ, wurden auch mögliche primäre Vorkommen in Pegmatiten in der Steiermark im Zuge einer zweiten Masterarbeit von Herrn Stefan Ahrer bearbeitet (Ahrer, 2014).

Basierend auf der Auswertung der geochemischen Beprobung des Bundesgebietes (Geochemischer Atlas von Österreich, Thalmann et al., 1989) und Folgeprojekten der VOEST-ALPINE 1986 und dem Büro „Dr. Pirkl“ in Kooperation mit der GBA 1992 (Schedl et al., 2003) konnten in der Böhmischen Masse geochemische Anomalien (Ce, La, Nb, Th, Ti, U, W, Y and Zr) festgestellt werden. Anhand dieser Information wurden im nordöstlichen Mühl- und im südwestlichen Waldviertel Proben von fluviatilen Bachsedimenten und eluvialen Verwitterungsmaterial gezogen und in weiterer Folge einer eingehenden mineralogischen und geochemischen Untersuchung unterzogen.

Ziel der Arbeit war es zu klären an welche Mineralphasen Niob, Tantal und ihre Begleitelemente gebunden sind, aus welchen Gesteinen sie stammen und inwieweit sie indikativ für das mögliche Auftreten von Nb-Ta-Mineralisationen sind.

Nachfolgend angeführte Themenschwerpunkte wurden abgehandelt:

- ❖ Probenahme von Bachsedimenten auf zwei unterschiedliche Arten (Siebfeinfraktion SF; Schwermineralvorkonzentrat SM).
- ❖ Aufbereitung und Präparation der gezogenen Proben der Art entsprechend und Herstellung eines Schwerminerkonzentrates.
- ❖ Aufbereitung der Proben für die chemische Analytik mittels ICP-MS und ICP-ES.
- ❖ Mineralogisch-petrographische Untersuchungen der polierten Dünnschliffe mittels Auf- und Durchlichtmikroskopie.
- ❖ Elektronenstrahlmikrosonden-Analysen zur Quantifizierung von Nb und Ta in den entsprechenden Mineralphasen.

- ❖ Automatisierte quantitative modale Mineralanalyse mittels MLA.
- ❖ Datendokumentation, Darstellung und Beurteilung der Messergebnisse.
- ❖ Interpretation der Daten hinsichtlich möglicher Quellen von Nb und Ta.

Erste Ergebnisse dieser Masterarbeit wurden im Rahmen der Pangeo Tagung 2014 in Graz als Poster präsentiert (Legerer et al., 2014a). Außerdem wurde ein Vortrag mit dem Titel „Investigations of selected stream sediment anomalies in the Bohemian Massif at Sandl“ bei der 1. Österreichischen Arbeitstagung „Pegmatite“ im April 2014 an der Montanuniversität Leoben gehalten. Diese Ergebnisse sind in den Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft in kurzer Form veröffentlicht (Legerer et al., 2014b).

2 Arbeitsgebiet

2.1 Geographischer Überblick

Die beiden untersuchten Arbeitsgebiete liegen im oberösterreichischem Mühlviertel bzw. im niederösterreichischem Waldviertel unweit der tschechischen Grenze. Das Hauptbeprobungsgebiet ist nördlich der Ortschaft Sandl (15 km nordöstlich von Freistadt) im politischen Bezirk Freistadt situiert. Ein weiterer kleiner Teil der Proben wurden 7 km südlich Weitra, nördlich der kleinen Ortschaft Walterschlag, beide im politischen Bezirk Gmünd, genommen (Abb. 1). Sandl liegt auf einer Seehöhe von 930 m, den höchstgelegenen Bereich bildet der Gipfel nördlich von Plochwald mit 1040 m. Walterschlag liegt auf einer Seehöhe von 704 m mit dem Johannesberg im Süden als höchste Erhebung, welcher eine Höhe von 839 m misst.

Abb. 1: Geographische Lage der Untersuchungsgebiete (BEV 2014, verändert), großer Kreis: Probenahmegebiet Sandl, kleiner Kreis: Weitra.

Abb. 1: Geographische Lage der Untersuchungsgebiete (BEV 2014, verändert), großer Kreis: Probenahmegebiet Sandl, kleiner Kreis: Weitra.

2.2 Geologischer Überblick

Die Böhmisches Masse als konsolidierter und seit dem ausgehenden Paläozoikum stark erodierter Teil der mitteleuropäischen Varisziden erstreckt sich vom österreichischen Mühlviertel und Waldviertel bis nach Südböhmen und Westmähren (Abb. 2). Anhand des Grades der variszischen Überprägung wird zwischen dem Moldanubikum im Westen, welches zur Gänze, und dem Moravikum im Osten, welches nur partiell variszisch überprägt wurde, unterschieden.

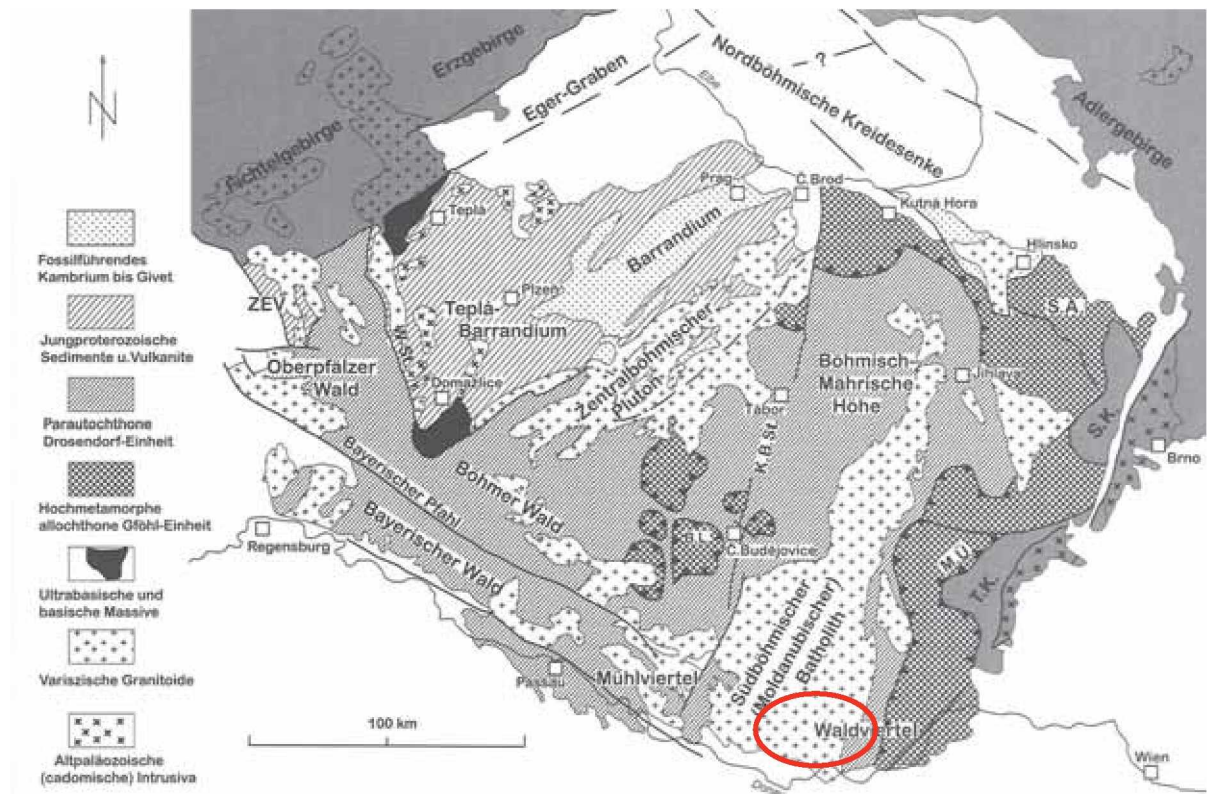


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte des europäischen Kerns der Böhmisches Masse (nach Franke, 2000); die Ellipse (rot) markiert das Beprobungsgebiet. M.Ü. – Moldanubische Überschiebung, T.K. – Thaya-Kuppel (aus Walter, 2007).

Die Moldanubische Zone, als größter Teil des österreichischen Anteils der südlichen Böhmisches Masse kann nach unterschiedlichen Ausgangslithologien und Unterschieden im Metamorphosegrad in zwei durch tektonische Überschiebungsbahnen voneinander getrennte Strukturstockwerke unterschieden werden. Den parautochthonen Sockel bilden die aus vorwiegend pelitischen Metasedimenten (jung bis altproterozoisch) bestehende **Drosendorf-Einheit** bzw. **Ostrong-Einheit**. Überlagert wird diese von der allochthonen **Gföhl-Einheit** (Abb. 3); letztere besteht aus überwiegend hochdruckmetamorphen, z.T. anatektischen Sillimanit führenden Ortho- und Paragneisen, Amphiboliten und Metagabbros. Der Überschiebungskontakt gegen die liegende parautochthone Drosendorf-Einheit manifestiert sich in einem deutlichen Metamorphosesprung zu niedrigergradigen Gesteinen.

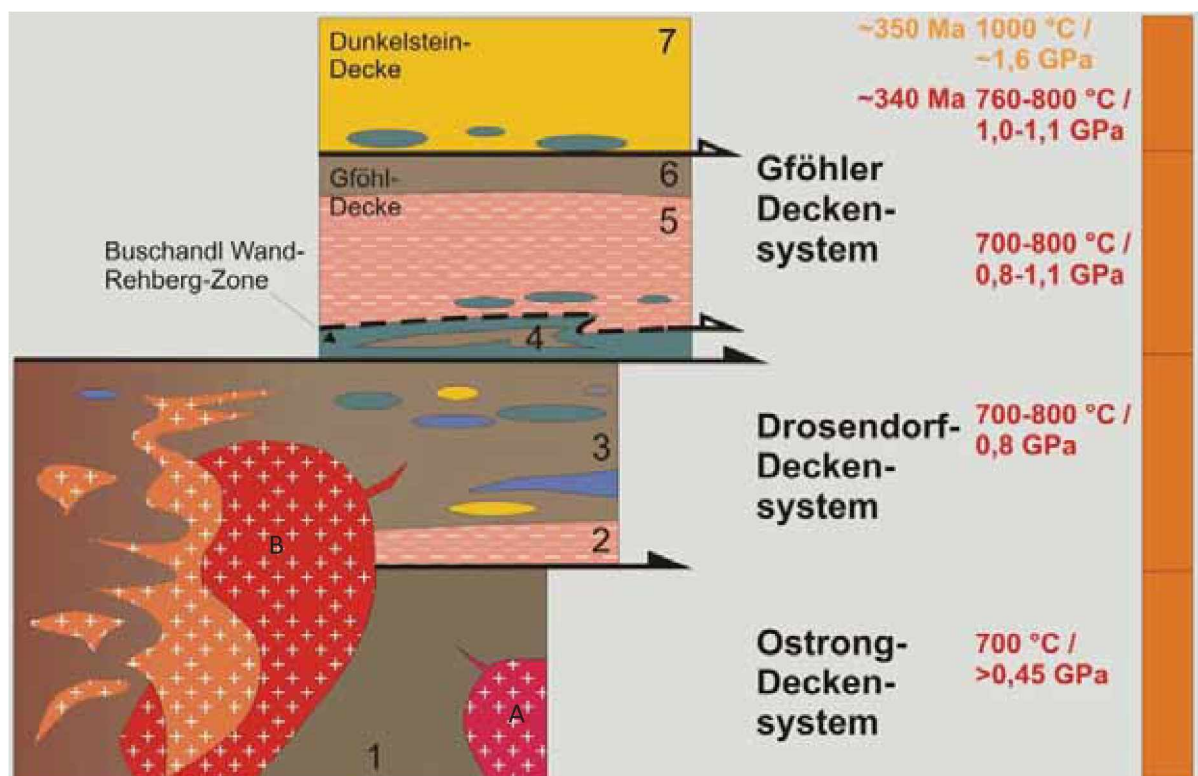


Abb. 3: Moldanubisches Deckensystem: 1 Monotone-Serie, 2 Dobra-Gneis, 3 Bunte-Serie, 4 Raabs-Letovice Komplex, 5 Gföhler Gneis, 6 Wolfshofer Syenitgneis, 7 Granulite mit Serpentin-Schollen an der Basis. Intrusionen: A Rastenberger Granodiorit, B Weinsberger Granit, Eisgarner Granit, Feinkorngranit (aus den Vorlesungsunterlagen „Regionale Geologie“ von Ralf Schuster 2014, nach Linner, 2013)

Den tiefsten Teil der Drosendorf-Einheit bildet die Monotone Serie (Abb. 3). Diese wird in Österreich als selbständiger Gneiskomplex von der Drosendorf-Einheit abgetrennt und der Ostrong-Einheit zugezählt. Zwischen der Monotonen Serie und der eigentlichen Drosendorf-Einheit besteht ein tektonischer Überschiebungskontakt. An deren Basis befinden sich die Dobra- und Spitz-Gneise (granitische Orthogneise), darüber folgt die Bunte-Serie (Paragneise, Amphibolite, Marmore, Kalksilikatgesteine, Metaquarzite und graphitische Schiefer).

Über einem duktil-tektonischen Kontakt folgt über der Bunten-Serie als allochthone Einheit die Gföhl-Decke (Gföhler-Gneis, ausgedehnte Granulit-Komplexe), mit an der Basis enthaltenen Einschaltungen von Amphiboliten (Rehberg-, Buschandelwand- und Raabs-Amphibolite).

Die Dunkelstein-Decke, bestehend aus Granuliten, bildet die hangendste tektonische Einheit. An ihrer Basis treten Linsen serpentinierter Peridotite, Pyroxenite und Eklogite auf (Walter, 2007).

Die gemeinsame variszische Entwicklung der Deckeneinheiten beginnt mit einer Hochdruckmetamorphose und der Stapelung der Moldanubischen Deckensysteme um ca. 370 Ma (Oberdevon). Nach einer temperaturbetonten Metamorphose um 340 Ma (Visé) kommt es zu einem Abkühlungsprozess welcher bis 290 Ma (oberstes Karbon) andauert. Die abschließende Aufschiebung des Moldanubikums auf das Moravikum dürfte die Ursache der frühen Hebung sein, welche sich in einer generellen Tendenz zu jüngeren Abkühlaltern im Westen manifestiert.

Mit der partiellen Aufschmelzung der cadomischen Kruste um 360 bis 350 Ma (Unterkarbon) beginnt die Entwicklung des Südböhmischen Plutons. Zwischen 350 und 320 Ma kommt es zur Bildung und Intrusion geochemisch unterschiedlicher Granitoide (Weinsberger Granit, Rastenberger Granodiorit). Im mittleren Karbon (330 - 300 Ma) kam es zu Intrusionen großer Mengen an S-Typ-Graniten (Mauthausner, Schremser und Eisgarner Granit), sowie geringen Mengen von I-Typ-Graniten. Eine Hochtemperatur Niedrigdruck Metamorphose ab 330 Ma markiert die Bavarische Phase.

Durch einen Krustenausdünnungsprozess wird die partielle Aufschmelzung der cadomischen Kruste (oberes Proterozoikum und Kambrium) und die zur selben Zeit stattfindende Bildung von Mantelschmelzen erklärt. Feinkörnige basaltische Ganggesteine (Lamprophyre) indrudierten postdeformativ an der Wende Karbon/Perm (< 316 Ma) – sie werden als Aufschmelzungsprodukte eines subkontinentalen Mantels interpretiert. Die Abkühlung innerhalb der Plutonite folgt dem überregionalen Trend, kann aber aufgrund großer latenter Wärmeenergie verzögert einsetzen.

Ältere Zirkone in den Metamorphiten und Plutoniten belegen, dass vor allem cadomisches Krustenmaterial im Zuge der variszischen Orogenese aufgearbeitet wurde. Der Anteil cadomischen Krustenmaterials ist wesentlich höher als bisher angenommen wurde. Dahingegen fehlen kaledonische Gesteine (Altpaläozoikum) mit Ausnahme im Gföhler-Deckensystem vollständig.

Die postvariszische Abkühlung der schmalen Zone des variszisch überprägten cadomischen Moravikums am Kontakt zum überschobenen Moldanubikums entspricht jenem des Moldanubikums. Die Bildungs- und Abkühlalter des nicht überprägten Anteils liegen zwischen ca. 500 und 600 Ma (Klötzli et al., 1999).

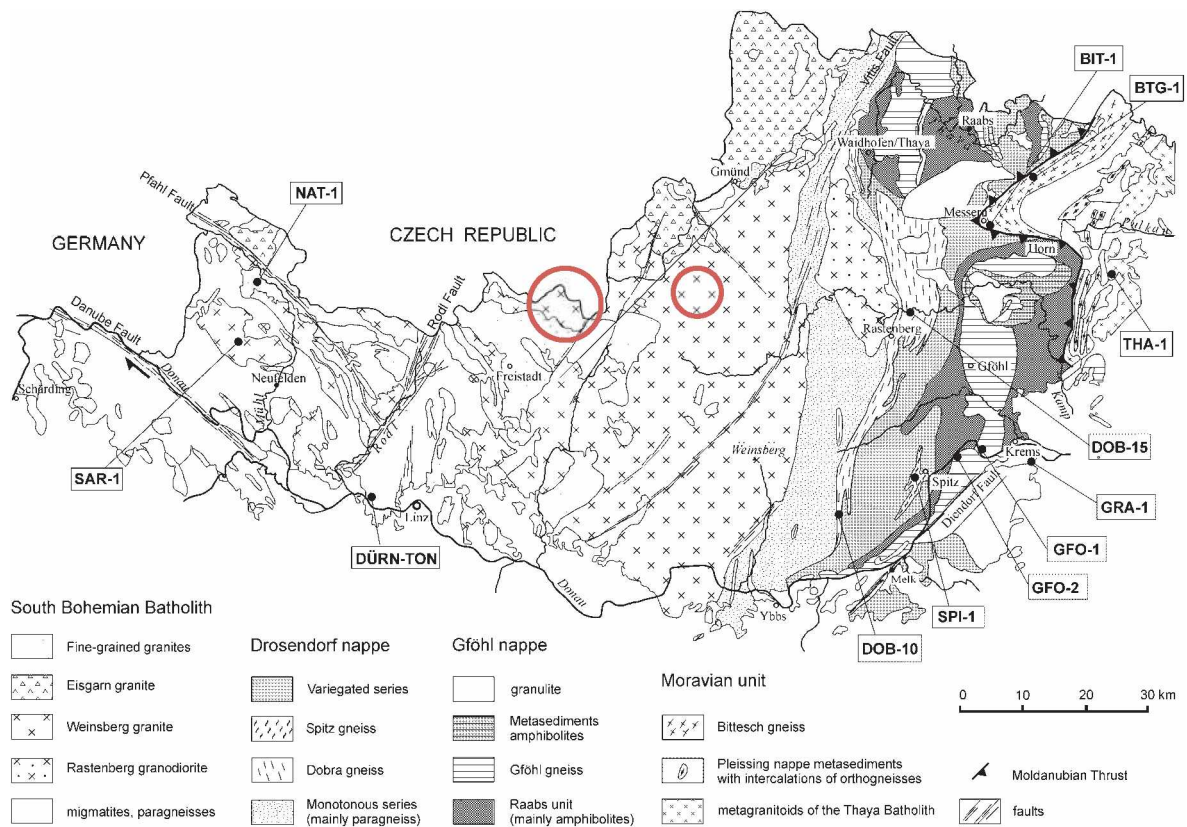


Abb. 4: Geologische Übersichtskarte der österreichischen Böhmisches Masse (Friedl et al., 2004) mit Lage der beiden Arbeitsgebiete (westlicher Kreis: Sandl, östlicher Kreis: Weitra).

2.2.1 Südböhmischer Pluton

Am südlichen Ende der Böhmisches Masse, westlich der Moldanubischen Grundgebirgeseinheiten, befindet sich ein 6000 km² großer Batholit, der „Südböhmische Pluton“, auch „Südböhmischer Batholit“ genannt (Abb. 2 und Abb. 4). Dessen Intrusion in die hochmetamorphen Gesteine der Monotonen Serie der Moldanubischen Zone erfolgte spät-syntektonisch bis posttektonisch (spätes Paläozoikum). Der nach Westen hin graduelle Kontakt zu anatektischen Nebengesteinen lässt darauf schließen, dass hier die tiefsten Bereiche des Batholiten freiliegen. Richtung Norden und Osten sind die Kontakte dagegen klar intrusiv und deuten auf ein höheres Niveau der Platznahme hin.

Die Granitoide zeigen eine deutliche krustale Signatur und die Schmelzen entstanden hauptsächlich durch anatektisches Aufschmelzung älterer, cadomischer kontinentaler Kruste (Klötzli et al., 2001).

Die Einteilung der magmatischen Gesteine des Südböhmischen Plutons kann in vier granitische Hauptgruppen (I bis IV), sowie einige untergeordnete gabbroide und dioritische Plutonite, sowie in ältere, synorogene und jüngere postorogene Granitoide erfolgen (Klötzli et al., 1999, 2001).

Synorogene Granitoide (355 bis 335 Ma):

- la. Gabbros (untergeordnet), Diorite und grobkörnige Biotitgranite mit cm-großen Alkalifeldspäten. Dazu zählt der weitverbreitet auftretende **Weinsberger Granit**, ein grob bis extrem grobkörniger peraluminöser Granodiorit einschließlich Pyroxen-führender Varietäten vom Typus Sarleinsbach und des weiter östlich vorkommenden
- lb. Hornblende-führenden **Rastenberger Granodiorits**. Der Rastenberger Granodiorit ist ein selbständiger Intrusionskörper, der zwischen den Gneisen der Monotonen Serie und den Dobragneisen liegt.

Postorogene Granitoide (335 bis 300 Ma):

- II. „**Feinkorngranite**“ sind metaluminöse bis leicht peraluminöse mittel- bis feinkörnige Biotitgranite. Zu ihnen zählen der Mauthausener und Schremser Granit, sowie der Freistädter Granodiorit. Diese Granitoide bilden Gänge, Lagergänge (sills) und Stöcke, vorwiegend im Weinsberger Granit.
- III. Stark peraluminöse Zweiglimmer- oder Muskovit-führende-Granite wie der **Eisgarner Granit** (S-Typ) und dessen Subtypen (Landstein, Cimer, Mrakotin Granit).
- IV. Kleinere Intrusionen lokal auftretender hochfraktionierter **Leukogranite**, Pegmatite, Aplite und Lamprophyre zählen zu den jüngsten Intrusionen. Sie sind unter anderem mit Mo-Mineralisationen assoziiert. Zu dieser Gruppe werden Granite des Typs Nebelstein, Hirschenschlag und Homolka gezählt.

2.2.2 Weinsberger Granit

Der grobkörnige Biotit-führende Weinsberger Granit ist der am weitesten verbreitete Gesteinstyp in der Südböhmischen Masse (Abb. 4). Er ist charakterisiert durch Kalifeldspatkristalle mit einer Größe von bis zu 20 cm und einer deutlichen geochemischen Heterogenität. Der SiO₂ Gehalt variiert von 58 bis 74 Gew%, die Gehalte von K₂O, Zr und Ba sind generell hoch. Er ist metaluminös bis peraluminös. Auf Basis von Gesamtgesteinsanalysen können I- und S-Typen im Pluton identifiziert werden.

Finger & Clemens (1995) interpretierten den Weinsberger Granit als Aufschmelzungsprodukt unterschiedlicher aluminium- und biotitreicher Gneise. Die Schmelzen entstanden durch Dehydrations-Schmelzreaktionen aus Biotit-, Plagioklas- und Quarz-reichen Gesteinen im Zuge hochgradiger Metamorphose in der unteren Kruste.

An Hand von unterschiedlichen Zirkon-Typologien und geochemischen Unterschieden der Gesamtgesteine (Finger & Clemens, 1995 und Finger & Quandt, 1992) können zwei Granittypen

unterschieden werden. Der Weinsberger Granit vom Typ I ist metaluminös bis leicht peraluminös und vorwiegend in den südlichen und westlichen Teilen des Plutons zu finden. Der Typ II eine etwas stärker peraluminöse und SiO₂-reichere Varietät im NO des Plutons.

Der sehr kompliziert zusammengesetzte Batholit des Weinsberger Granites weist eine lang anhaltende magmatische Geschichte auf. Aufgrund der großen Wärmeenergie wurden zusätzliche Schmelzfraktionen gebildet, begleitet von erheblich jüngeren Intrusionen wie dem Schremser, Nebelstein, Plochwald Granit und anderen kleineren Intrusionen mit unterschiedlicher Textur, Korngröße und Fraktionierungsgrad. Die hohen Temperaturen führten zu einer Aufschmelzung der Weinsberger und Eisgarner Granite und zu einer Auskristallisation als feinkörnige Varietäten (Klötzli et al., 1999).

Für den Weinsberger Granit wurde eine Vielzahl an geochronologischen Daten publiziert. Als Intrusionsalter der Hauptmasse der Weinsberger Granite wurde ein Alter von 349 ± 4 Ma bestimmt (unkontaminierte Rb/Sr Gesamtgesteinsanalyse; Scharbert, 1987). Der Hauptkörper des Weinsberger Granits muss aufgrund von Geländebeobachtungen älter als der auf 328 Ma datierte Eisgarner Granit sein (Breiter & Scharbert, 1995). Die stark variierenden und in der Literatur kontrovers diskutierten Altersangaben könnten nach (Scharbert, 1987) eine Folge der Kontamination der granitischen Schmelzen durch häufig auftretende Paragneisschollen sein.

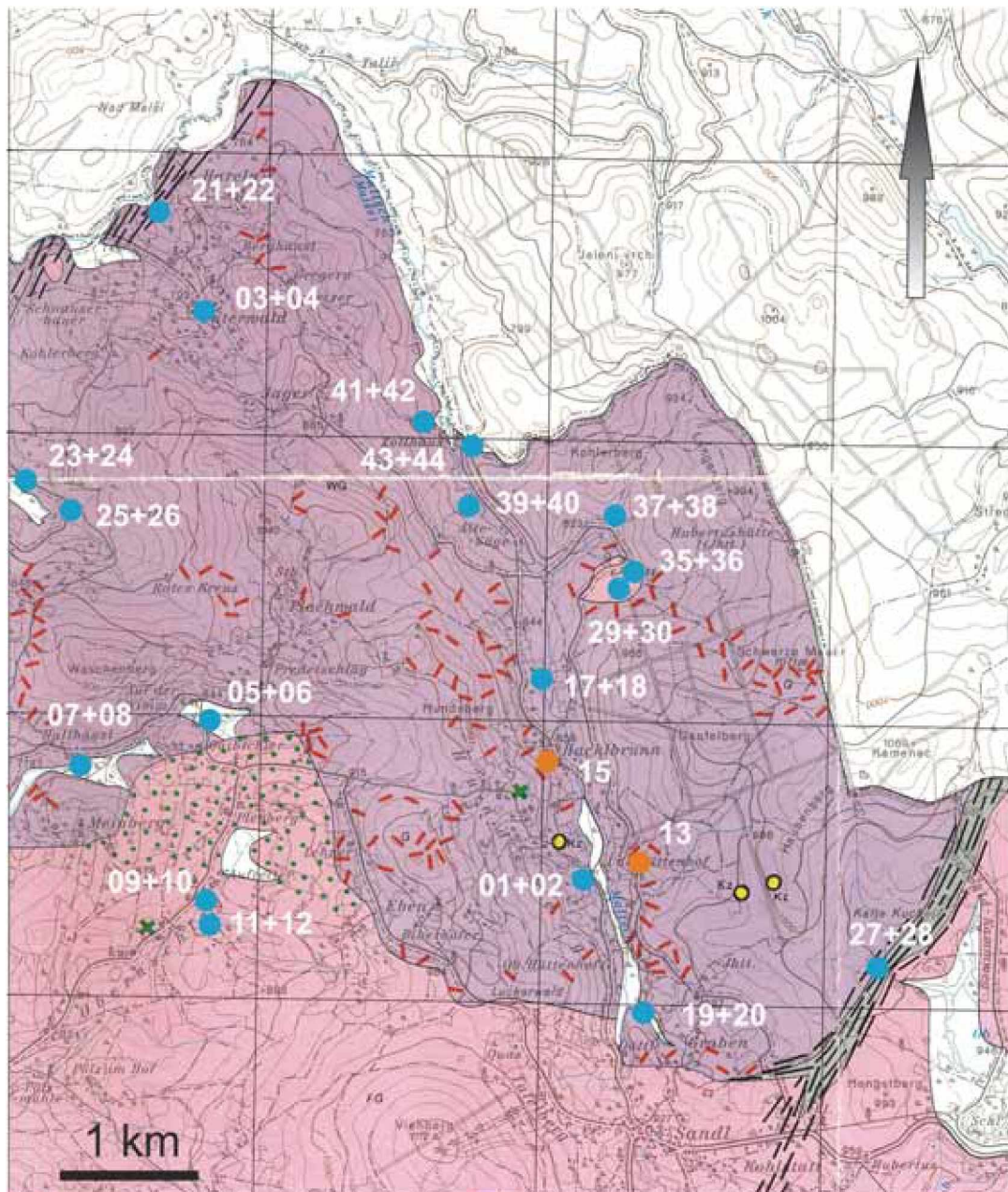
U-Pb Datierungen von Monaziten und Xenotimen aus felsischen Granittypen im Weinsberger Granit aus dem Steinbruch Plochwald ergaben ein Alter von 318 ± 4 Ma bzw. 314 ± 4 Ma. Die ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb Alter von Zirkonen liegen bei 316 ± 17 Ma (Quandt & Finger, 1991) bzw. 317 ± 19 Ma (Friedl et al., 1992). Diese Granite sind demnach deutlich jünger als die Hauptmasse des Weinsberger Granits und könnten einer jüngeren Intrusionsphase zuzurechnen sein.

Nach Klötzli et al. (1995 und 1999) kann die Entwicklung der Granite im Südböhmischen Pluton wie folgt zusammengefasst werden:

Die Magmenproduktion begann um 350 bis 360 Ma mit Anatexis cadomischen Krustenmaterials (ältere „ererbte“ Zirkone in den Graniten von Plochwald, Sarleinsbach, Weinsberg und Rastenberg). Die Intrusion unterschiedlicher Granitoide am Ostrand des Südböhmischen Plutons (Rastenberger Granodiorit und Trebic Massiv) konnte mit U/Pb Zirkon-Datierungen zwischen 334 und 338 Ma eingegrenzt werden. Die Alter für den Weinsberger Granit variieren recht stark und liegen zwischen 345 und 321 Ma und unterstreichen die komplexen mehrphasigen Intrusionsvorgänge oder Kontamination mit Paragneismaterial. Das Ende des Intrusionszykluses stellt die Platznahme des Plochwaldtyp-Granits dar. Für diesen wurden Alter von 325 ± 10 Ma (Gesamtgesteinsalter), 314 ± 4 Ma (Monazit U/Pb), 317 ± 19 Ma (Zirkon U/Pb) bestimmt.

2.2.3 Geologie des Beprobungsgebietes

Nach der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50000 von 1977, Grosspertholz (Blatt 17) stellt der Weinsberger Granit die Hauptlithologie in den beiden Arbeitsgebieten dar. Sehr untergeordnet tritt „Feinkorngranit“ mit Weinsberger Granit- und Dioritschollen auf (Fuchs & Schwaighofer, 1977). Klob (1970) differenziert den „Feinkorngranit“ südlich des Weinsberger Granits bei Sandl und bezeichnet ihn als „Karlstifter Granit“. Der Karlstifter Granit ist nach Klob (1970) eine porphyrischer Granit mit frühzeitig ausgeschiedenen Alkalifeldspateinsprenglingen in einer granodioritischen Grundmasse und jünger als der Weinsberg Granit.



● SM- und SF-Proben ● GG-Proben

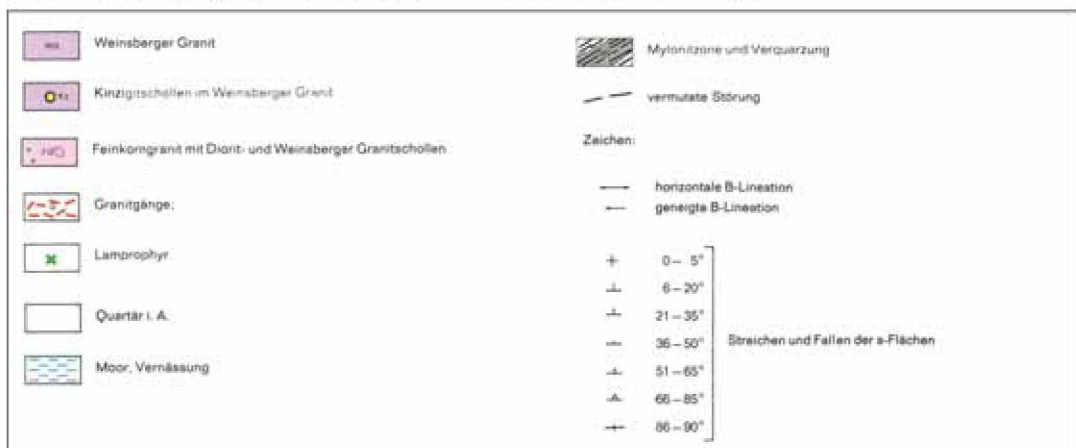


Abb. 5: Geologische Übersichtskarte mit SM, SF und GG Probenahme-Punkten (Geologische Karte 1:50 000, Blatt 17, Fuchs & Schwaighofer 1977).

Der Weinsberger Granit als ältester moldanubischer Granitoid wird von Kurat (1965) als ein grobkörniger Biotitgranit mit porphyrischen Kalifeldspäten beschrieben, welcher sich nach Haunschmid (1989) im nordöstlichen Mühlviertel von den Vorkommen im südlichen und westlichen Mühlviertel deutlich unterscheidet (Tab. 1). So führt der Weinsberger Granit im nordöstlichen Mühlviertel mehr Hellglimmer, ist SiO_2 -reicher und stärker peraluminös. Auch die Zirkonmorphologie unterscheidet sich. Vergleichbare Zirkone finden sich nach Klötzli et al. (1999) im Gebiet N der Linie Königwiesen – Freistadt und SW Weitra – Zwettl und werden als eigenständige Zirkonpopulation, gebildet in einer palinogenetischen Schmelze anatektischen Ursprungs gedeutet. Das Alter dieser Zirkone wird mit 336 ± 19 Ma angegeben (Klötzli et al., 1999).

Haunschmid (1989) liefert eine petrographische Beschreibung des Weinsberger Granits nördlich von Sandl. Die milchig weißen bzw. grau gefleckten Kalifeldspäte sind dicktafelig und haben eine Kornlänge von 3 bis 7 cm, in Inhomogenitätsbereichen bis zu 10 cm. Die Matrix besteht aus ca. 1 cm großen, idomorph bis hypidomorph ausgeprägten, gelblichen Plagioklas und xenomorphen Quarz, der meist in deutlich kleinere Rekristallisationskörner zerlegt ist. Der Biotit erscheint dunkelbraun bis schwarz und ist regellos im Gestein verteilt und teilweise zu Butzen¹ verklumpt. Im Vergleich zu anderen Vorkommen des Weinsberger Granits ist hier etwas mehr Biotit vorhanden. Die Hellglimmer treten in Millimeter großen Flittern mit Kalifeldspäten sowie in dessen Spaltrissen auf.

Tab. 1: Vergleich der Modalbestände (in Vol. %) des Weinsberger Granits des nordöstlichen Mühlviertels für die Probe HA 23 aus dem Steinbruch Plochwald (Haunschmid, 1989) in einer makroskopischen Abschätzung, sowie des südlichen und westlichen Mühlviertels nach Kurat (1965)

Vol %	Kfsp.	Plag.	Quarz	Biotit	Hellglimmer
HA23, NO Mühlviertel	40	26	20	13	1
S u. W Mühlviertel	35-37	33-35	19-22	9-13	0

Somit unterscheidet sich der Weinsberger Granit im Bereich Sandl wesentlich von den Vorkommen im südlichen und westlichen Mühlviertel in Bezug auf Petrographie und Geochemie. Paragneis- und Pseudokinzingitscholle² weisen auf eine Beeinflussung des Granitmagmas durch sedimentogenes Material hin (Haunschmid, 1989).

¹ Unregelmäßig geformte Mineralmasse im Gestein

² Pseudokinzingit: massiges Granat-Cordierit-Biotit-Gestein (Haunschmid 1989)

3 Methodik

Im Rahmen der Masterarbeit wurden unterschiedliche Beprobungsarten, Aufbereitungsmethoden sowie verschiedene mineralogische und chemische Untersuchungsmethoden angewandt.

3.1 Probenahme

Die Auswahl des Probenahmegebietes sowie der Probenahmepunkte erfolgte anhand der vorangegangenen geochemischen Untersuchungen. Die Basis bildete der Geochemische Atlas von Österreich (Thalman et al., 1989), welcher eine systematische Beprobungen des Bundesgebietes darstellt. Weitere Daten stammen aus einem Projekt der VOEST-ALPINE im Jahr 1986 sowie einem Kooperationsprojekt des Büros „Dr. Pirkl“ mit der GBA im Jahre 1992 (Schedl et al. 2013). Auf Grundlage dieser geochemischen Daten und Vorinformationen wurden die zwei bearbeiteten Gebiete (Sandl und Weitra) ausgewählt und eine Probenahmekampagne für diese Masterarbeit von Herr Dr. Hassan Neinavaie vorgeschlagen.

Im Zuge der Geländearbeit wurden 42 Bachsediment- und drei Granitgrusproben genommen. Bei der Bachsediment-Probenahme wurden an jedem Probenahmepunkt zwei unterschiedliche Probenahmearten angewandt; einerseits wurde ein Schwermineralvorkonzentrat (SM), andererseits eine Probe der Sieb-Feinfraktion (SF) genommen. Außerdem wurde in Steinbrüchen punktuell die eluviale Verwitterungszone (Granitgrus - GG) beprobt. Im Sommer bzw. Herbst 2013 wurden in Summe 21 Schwermineralvorkonzentrate und 21 Sieb-Feinproben, je drei davon in Weitra, sowie zwei Granitgrusproben in Sandl und eine in Weitra entnommen (Abb. 6).

Die Bachsedimentbeprobung wurde nach einer mehrtägigen Einschulung durch Herrn Dr. Hassan Neinavaie selbständig durchgeführt. Die Probenahmepunkte in den Flussläufen wurden stets so gewählt, dass unerwünschte Einflüsse möglichst gering gehalten wurden. So erfolgte die Entnahme flussaufwärts von Brücken, Drainagen oder sonstigen einflussnehmenden Faktoren. Daher ist eine vorherige Begehung des Bachbettes entscheidend, um eine geeignete Stelle zu finden und eventuell auftretende anthropogene Verunreinigungen (z.B. Ziegelbruchstücke, Straßenschotter, Schlacke), welche eine Beeinflussung der Probe bewirken könnten, zu vermeiden bzw. zu vermerken. Die Entnahme erfolgte nicht immer punktuell, sondern je nach Beschaffenheit des Flusslaufes sowie der Sedimente auf einer Länge von 10 bis 50 Metern in Ausnahmefällen auch auf 100 Meter.

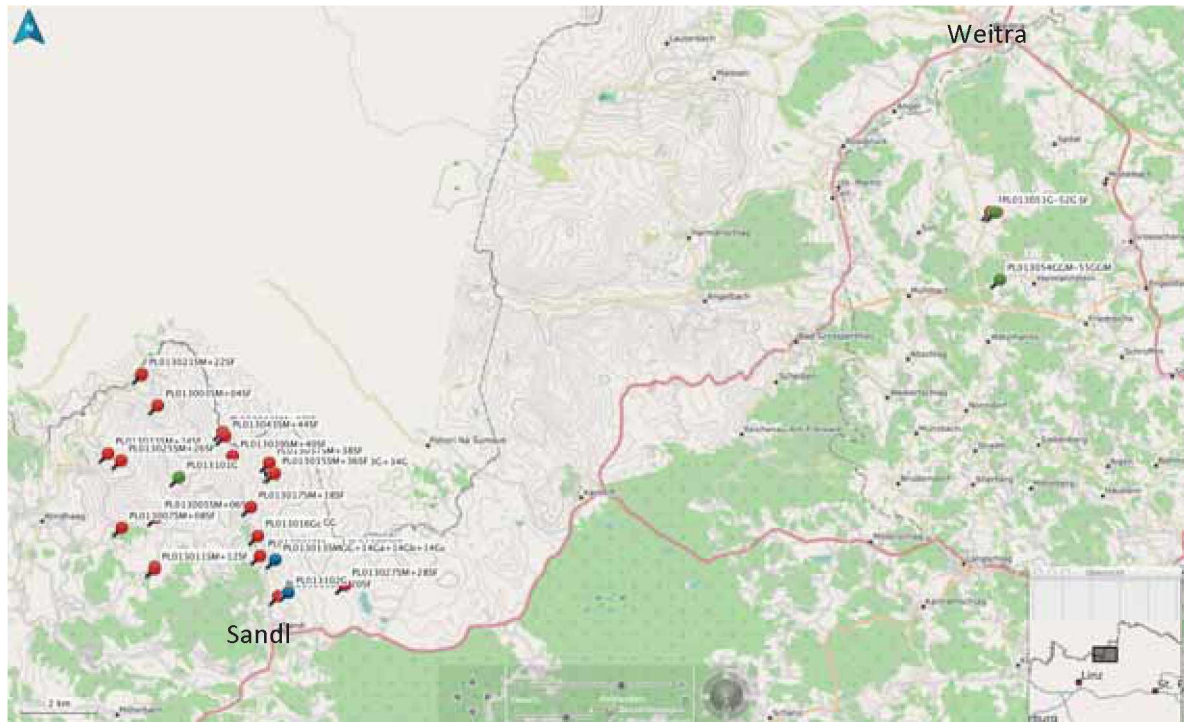


Abb. 6: Übersicht der Probennahmepunkte im Raum Sandl und Weitra.

Die Proben wurden mit dem Präfix PL0130xx und einer fortlaufenden zweistelligen Nummer gekennzeichnet. Üblicherweise stellt die fortlaufende ungerade Zahl die Schwermineral- und die darauffolgende gerade Zahl die dazugehörige Sieb-Feinfraktion dar. Eine Zusammenstellung aller Proben mit den geographischen Koordinaten, Probenahmegebiet, Verunreinigungen und Bemerkungen liefert Tabelle A im Appendix.

3.1.1 Probenahme Feinfraktion (SF)

Die Feinfraktion-Probe, abgekürzt SF für Sieb-Fein, wird mittels einer kleinen Schaufel mit geradem Schaufelboden (z.B. Mehlschaufel) in strömungsarmen Bereichen des Bachbettes entnommen. Dabei werden nur wenige Millimeter des aktiven Bachsediments der feinsten obersten Sedimentschicht entnommen. Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass kein organisches Material bzw. kein Eintrag aus dem A-Horizont des angrenzenden Bodens mitbeprobte wird. Besonders in Bächen mit relativ geradem Flussverlauf sind oft kaum geeignete Probenahmestellen vorhanden. Aufgrund dieser Schwierigkeit bei der SF-Probenahme, empfiehlt es sich diese vor der SM Probe zu entnehmen.

3.1.2 Probenahme Schwermineralvorkonzentrat (SM)

Für eine Schwermineralvorkonzentrat-Probe, abgekürzt SM, werden etwa 20 kg (entspricht einem Kübel mit 10 Liter) aktives Bachsediment mit einem Korndurchmesser von etwa 20 mm entnommen (Abb. 7). Die Probe wird in Bereichen höheren Strömungsregimes mittels Spaten möglichst tief im Bachbett entnommen, da dort eine vermehrte Anreicherung von Schwermineralen zu erwarten ist.

Anschließend erfolgt vor Ort die Nass-Siebung mittels eines Analysesiebes (DIN 4188, Maschenweite 1,4 mm) wodurch die Sedimente auf eine Korngröße von $< 1,4$ mm reduziert werden.



Abb. 7: Probenahme von Schwermineralkonzentraten im Raum Sandl.

Die Menge der so erhaltenen Probe wird in Siebboden-Anzahl festgehalten (ein Siebboden entspricht ca. 1,7 kg Sediment im nassen Zustand), um damit eine quantitative Abschätzung zu erhalten.

Mittels Gold-Waschpfanne wird ein Schwermineralvorkonzentrat der Fraktion $< 1,4$ mm erzeugt. Bei dieser Art der Dichtentrennung werden die leichteren Sedimentpartikel durch gleichmäßig kreisende Bewegungen der Waschpfanne mit dem Wasser ausgespült während sich die dichteren Körner anreichern. Die gewünschte Schwermineralfraktion verbleibt in der Waschpfanne und wird in Papiersäckchen abgefüllt. Abhängig von der Anzahl der Siebböden dauert die reine Probenahme und die Herstellung eines Vorkonzentrates ca. 2 – 3 Stunden pro Probe, bei Granitgrus durch die größere Ausgangsmenge entsprechend länger.

3.1.3 Probenahme Granitgrus (GG)

Zur Korrelation von Liefergebiet und Sedimentfracht erfolgte eine Beprobung der „Umgebungs-Lithologie“. Dafür wurden eluviale Verwitterungszonen der Granite (Granitgrus, daher die Abkürzung GG) beprobt. Als Probenahmepunkte wurden aufgelassene Steinbrüche und Schottergruben ausgewählt. Nach Möglichkeit wurde eine Probe über den gesamten senkrechten Querschnitt des Aufschlusses entnommen. Aufgrund der geringeren Anreicherung der Schwermineralphasen im Granitgrus im Vergleich zu den Bachsedimenten wurde hier die doppelte Masse, also ca. 40 kg beprobt. Der verwitterte Granit wurde ebenso wie die SM-Proben mittels eines Analysesiebes (DIN 4188) mit einer Maschenweite von 1,4 mm nass gesiebt. Die weitere Dichtentrennung erfolgte gleich wie bei den SM-Proben.

3.2 Aufbereitung

Die Aufbereitung der SM- und GG-Proben erfolgte ident. Sie wurden einer Schwerentrennung unterzogen, anschließend wurden daraus polierte Dünnschliffe angefertigt sowie für weitere Analysezwecke entsprechend aufbereitet.

Die SF-Proben wurden hingegen nach der Trocknung mittels einer Vibrations-Siebmaschine Analysette 3 der Firma Fritsch, unter Einsatz von drei im Analyseturm untereinander positionierten Analysesieben mit einer Maschenweite von 1,40 mm, 0,355 mm und 0,180 mm, trocken auf eine Korngröße < 0,180 mm gesiebt (Abb. 8). Die Siebzeit betrug abhängig von der zu siebenden Menge 15 - 20 Minuten in der Einstellung „Intervall“ mit einer Intervallzeit von 4 Sekunden.



Abb. 8: Die verwendete Vibrations-Siebmaschine Analysette 3 mit drei Analysesieben.

3.2.1 Schweretrennung

Vor der Schweretrennung wurden die SM- und GG-Proben getrocknet und auf Korngröße $< 0,180$ mm reduziert, um dadurch die gesteinsbildenden Mineralphasen abzutrennen und somit die in der Regel wesentlich feinkörnigeren akzessorischen Schwermineralphasen anzureichern.

Die Trennung von Leicht- und Schwermineralfraktion erfolgt durch einfache Sedimentation in einem Scheidetrichter unter Verwendung einer Trennflüssigkeit. Während die spezifisch leichteren Minerale an der Oberfläche aufschwimmen, setzen sich die schwereren am Boden ab können somit abgetrennt werden.

Abb. 9 den Geräteaufbau besteht aus einem Scheidetrichter mit Verschluss, einem Trichter mit Filterpapier und einem Becherglas zum Auffangen der Schwereflüssigkeit (Boenigk, 1983).



Abb. 9: Geräteaufbau für die Schweretrennung mittels Polywolframat, im rechten Bild ist das bereits erfolgte Absinken der Schwerefraktion im Scheidetrichter gut erkennbar.

Für die Trennung wurde eine Schwereflüssigkeit aus Natriumpolywolframat mit einer Dichte von $2,90$ bis $2,98 \text{ g/cm}^3$ hergestellt. Die besten Resultate hinsichtlich Durchflussmenge pro Zeit bei der Filtration und adäquater Mineraltrennung konnten mit einer Dichte von $2,95 \text{ g/cm}^3$ erzielt werden. Weiters haben sich Faltenfilter für die hier verwendete Trennflüssigkeit bewährt. Mithilfe eines Glasstabes konnte die Sedimentation durch vorsichtiges Umrühren unterstützt und verbessert werden.

Eine abschließende mehrfache und äußerst gründliche Reinigung der Schwerefraktion mit doppelt destilliertem Wasser muss durchgeführt werden, um mögliche Verunreinigungen, besonders durch Wolfram, zu vermeiden.

Das Sicherheitsdatenblatt zum Umgang und Verwendung von Natriumpolywolframat befindet sich im Appendix in Abbildung C.

3.2.2 Dünnschliff Präparation

Nach der Schwereretrennung erfolgte mittels eines Scheidetrichters eine mengenmäßige Teilung der Proben in zwei gleichgroße Probenmengen A und B.

Die Herstellung der polierten Dünnschliffe von allen SM- und GG-Konzentraten der Proben A wurden von Herrn Helmut Mühlhans im Präparationslabor des Lehrstuhls für Rohstoffmineralogie durchgeführt. Dabei wird die getrocknete Schwermineralfraktion in den flüssigen Zweikomponenten-Epoxidharzklebstoff auf eine Glasplatte gestreut und bei 106° C getrocknet. Die gehärtete Oberfläche wird plan geschliffen und anschließend auf den eigentlichen Objektträger aufgeklebt. Das sich nun rückseitig befindliche Glas wird mit der Gesteinssäge abgetrennt. Das sich nun auf dem Objektträger befindliche Körnerpräparat wird auf eine Stärke von 30 µm mittels Diamantscheibe und Diamantspray geschliffen und anschließend poliert.

3.2.3 Aufmahlung

Die SF-Proben wurden im Gegensatz zu den SM- und GG-Proben in eine Probe A mit einem 75 % Gewichtsanteil und eine B-Probe mit 25 Gew. % geteilt. Für die anschließende geochemische Analytik wurde für alle Probearten die Probe B verwendet.

Die analysefeine Aufmahlung der Proben wurde an der Scheiben-Schwingmühle Pulverisette 9 der Firma Fritsch mit einer Mahlgarnitur aus Achat (Abb. 10) im Schneidlabor des Department für Angewandte Geowissenschaften und Geophysik durchgeführt.



Abb. 10: Scheiben-Schwingmühle Pulverisette 9 der Firma Fritsch und Mahlgarnitur aus Achat mit Quarzsand zur Reinigung.

Um einer möglichen Kontamination entgegen zu wirken wurde die Mahlgarnitur zwischen zwei Mahlvorgängen mit Wasser, Bürste und Aceton gereinigt. Bei den SM-Proben wurde zusätzlich auch noch Quarzsand aufgemahlen und die Reinigung wie zuvor beschrieben wiederholt.

3.3 Mikroskopische Untersuchung

Die mikroskopischen Untersuchungen mittels Durch- und Auflichtmikroskopie wurden vorwiegend an einem Polarisationsmikroskop der Firma Zeiss, Model AXIO Scope.A1 durchgeführt. Die in dieser Masterarbeit verwendeten Fotos wurden mit einer an das Mikroskop angeschlossenen Digitalkamera Modell AxioCam Erc 5s erstellt und mit der Software AxioVs40 Version 4.8.2.0 ausgewertet.

3.4 Geochemische Analytik

Die analysefein aufgemahlene SM- und SF-Proben wurden von den Acme Analytical Laboratories Ltd. in Vancouver, Kanada, einem international akkreditierten Labor chemisch analysiert.

Es wurde eine Gesamtgesteinsanalyse (Analysepaket 4A-4B) auf 21 Haupt- und Nebenelemente mit ICP-Emission Spectrometry (ICP-ES) mittels Lithium Borat Schmelz- und verdünntem Säureaufschluss durchgeführt. Für die Bestimmung von 45 Spurenelementen fand eine ICP-MS Anwendung, wobei neben demselben Aufschlussverfahren wie für ICP-ES zusätzlich ein Königswasser-Aufschluss erfolgte. Die eingesandte Probenmenge betrug etwa 8g, die restliche Menge wurde als Rückstellprobe aufbewahrt.

3.5 Raman-Spektroskopie

Für die Bestimmung einiger Mineralphasen wurde ein ISA JobinYvon LABRAM Raman Spektroskop des Fluid-Labors am Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie genutzt. Die mit einem 120 mW Doppelfrequenz Nd-YAG Laser und einer Wellenlänge von 532,2 nm ermittelten Raman-Spektren wurden mittels der RRUFF Datenbank (rruff.info) identifiziert.

3.6 Elektronenstrahlmikrosondenanalyse (EMS)

Die Elektronenstrahlmikrosondenanalysen der aus den Schwermineralkonzentraten gefertigten Dünnschliffe wurden an einer JEOL JXA-8200 des Eugen F. Stumpfl Mikrosondenlabors, einer UZAG Einrichtung (Universitätszentrum Angewandte Geowissenschaften Steiermark), am Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie an der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

Es erfolgten einerseits qualitative energiedispersive Röntgenspektroskopie-Messungen (EDS), punktuell wie auch flächenmäßig (Mapping) für die Mineralphasenbestimmung, andererseits quantitative Messungen mittels wellenlängendispersiver Röntgenspektroskopie (WDS). Für Bildaufnahmen an der Mikrosonde wurde der COMP-Modus verwendet, der im Wesentlichen ein Rückstreuелеktronenbild (BSE) erzeugt.

Tab. 2: EMS Messbedingungen für Ilmenit und Rutil, Messzeiten in Sekunden für Peak und Background, Beschleunigungsspannung und Probestrom für die jeweilige Messserie 1 bis 5.

Messserie	Messzeiten [s] je Messserie					
	1		2 + 3 + 4		5	
	Peak	Background	Peak	Background	Peak	Background
Al₂O₃	20	10	20	10	20	10
ZrO₂	20	10	20	10	20	10
Cr₂O₃	15	5	20	10	20	10
TiO₂	20	10	20	10	20	10
MgO	n. gem.	n. gem.	20	10	20	10
Nb₂O₅	10	10	20	10	20	10
MnO	20	10	20	10	20	10
FeO	20	10	20	10	20	10
SnO₂	20	10	20	10	20	10
ZnO	15	5	15	5	20	10
Ta₂O₅	20	10	20	10	20	10
SiO₂	30	15	20	10	20	10
WO₃	20	10	20	10	15	5
	Probestrom [nA] je Messserie					
	1	2	3	4	5	
	10,0	10,3	9,92	9,56	10,0	

Insgesamt wurden 5 Messserien durchgeführt. Anhand einer eingeführten Tausenderziffer für jede Messserie (1 für die erste Serie, usw.) und der fortlaufenden Messpunkt-Nummer (z.B. Messserie 1 mit Messpunkt 25: 1025) ist jede Messung der jeweiligen Messserie zuordenbar. Pro Serie wurde mit zwei unterschiedlichen Messprogrammen, einem für Ilmenit und einem für Rutil, gearbeitet.

Für alle Messungen wurde eine Beschleunigungsspannung von 20 kV gewählt. Die Messzeiten [s] für Peak und Background unterscheiden sich bei einzelnen Elementen bei den einzelnen Messserien (Tab. 2). Bei der ersten Messserie wurde MgO nicht gemessen und ist aus diesem Grund mit „n. gem.“ gekennzeichnet.

Die weiteren Messbedingungen wie Linie der charakteristischen Röntgenstrahlung, Analysatorkristall und verwendete Standards der beiden Messprogramme für Ilmenit und Rutil sind in Tab. 3 bzw. Tab. 4, nach Messserie gegliedert, aufgelistet.

Tab. 3: Messbedingungen der Elektronenstrahlmikrosondenanalysen, Linie, Analysatorkristall und Standard nach Messserien im Messprogramm Ilmenit.

Element	Linie	Analysator- kristall	Standard je Messserie (Ilmenit)			
			1	2+3	4	5
Al_2O_3	K α	TAP	ChromLBlast1	ChromLBlast1	ChromLBlast1	ChromLBlast1
ZrO_2	L α	PETJ	spi47zirkon	spi47zirkon	spi47zirkon	spi47zirkon
Cr_2O_3	K α	LIFH	ChromiteLB20Kv	ChromiteLB20K v	ChromiteLB20Kv	ChromiteLB20Kv
TiO_2	K α	LIFH	IlmeniteLB20Kv	IlmeniteLB20Kv	IlmeniteLB20Kv	SPIRutile
MgO	K α	TAP	-	21_K_DiopsBP3	21_K_DiopsBP3	21_K_DiopsBP3
Nb_2O_5	L α	PETJ	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv
MnO	K α	LIFH	RhodLB	RhodLB	RhodLB	RhodLB
FeO	K α	LIFH	PyrNatelba20Kv	PyrNatelba20Kv	IlmeniteLB20Kv	IlmeniteLB20Kv
SnO_2	L α	PETJ	SPIcassiterite	SPIcassiterite	SPIcassiterite	SPIcassiterite
ZnO	K α	LIFH	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE
Ta_2O_5	L α	LIFH	Tamet	Tamet	Tamet	Tamet
SiO_2	K α	PETJ	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit
WO_3	L α	LIFH	Wmetal	Wmetal	Wmetal	Wmetal

Tab. 4: Messbedingungen der Elektronenstrahlmikrosondenanalysen, Linie, Analysatorkristall und Standard nach Messserien im Messprogramm Rutil.

Element	Linie	Analysator- kristall	Standard je Messserie (Rutil)				
			1	2	3	4	5
Al₂O₃	Kα	TAP	ChromLBlast1	ChromLBlast1	ChromLBlast1	ChromLBlast1	ChromLBlast1
ZrO₂	Lα	PETJ	spi47zirkon	spi47zirkon	spi47zirkon	spi47zirkon	spi47zirkon
Cr₂O₃	Kα	LIFH	ChromiteLB20Kv	ChromiteLB20Kv	ChromiteLB20Kv	ChromiteLB20Kv	ChromiteLB20Kv
TiO₂	Kα	LIFH	SPIRutile	SPIRutile	40RutileLB20KV	40RutileLB20KV	SPIRutile
MgO	Kα	TAP	-	21_K_DiopsBP3	21_K_DiopsBP3	21_K_DiopsBP3	21_K_DiopsBP3
Nb₂O₅	Lα	PETJ	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv	Nbmet10020kv
MnO	Kα	LIFH	RhodLB	RhodLB	RhodLB	RhodLB	RhodLB
FeO	Kα	LIFH	PyrNatelba20Kv	PyrNatelba20Kv	PyrNatelba20Kv	IlmeniteLB20Kv	IlmeniteLB20Kv
SnO₂	Lα	PETJ	SPlcassiterite	SPlcassiterite	SPlcassiterite	SPlcassiterite	SPlcassiterite
ZnO	Kα	LIFH	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE	P3_25_sphalKE
Ta₂O₅	Lα	LIFH	Tamet	Tamet	Tamet	Tamet	Tamet
SiO₂	Kα	PETJ	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit	29_K_Kaersutit
WO₃	Lα	LIFH	Wmetal	Wmetal	Wmetal	Wmetal	Wmetal

Die Nachweisgrenzen der einzelnen Elemente je Messserie sind für das Messprogramm Ilmenit in Tab. 5 und für Rutil in Tab. 6 aufgelistet. Die Berechnung der Nachweisgrenzen erfolgte separat für jede Messerie anhand von Durchschnittswerten ausgewählter Messungen.

Tab. 5: Berechnete Nachweisgrenze der einzelnen Elemente nach Messserie sortiert für das Messprogramm Ilmenit. (Suffix: n. gem. = nicht gemessen)

Element	Nachweisgrenze je Messserie für Ilmenit [ppm]				
	1	2	3	4	5
Al₂O₃	164	160	164	176	190
ZrO₂	265	259	253	265	242
Cr₂O₃	149	145	152	150	148
TiO₂	195	199	212	202	223
MgO	n. gem.	107	110	119	132
Nb₂O₅	353	355	356	373	368
MnO	147	150	160	156	153
FeO	156	155	159	161	156
SnO₂	214	216	221	222	222
ZnO	340	336	348	343	347
Ta₂O₅	445	443	439	432	441
SiO₂	163	161	159	191	156
WO₃	902	891	891	882	885

Tab. 6: Berechnete Nachweisgrenze der einzelnen Elemente nach Messserie sortiert für das Messprogramm Rutil (Suffix: n. gem. = nicht gemessen).

Element	Nachweisgrenze je Messserie für Rutil [ppm]				
	1	2	3	4	5
Al₂O₃	162	158	154	168	185
ZrO₂	232	255	237	263	244
Cr₂O₃	133	134	135	128	137
TiO₂	208	216	217	221	229
MgO	n. gem.	105	109	112	135
Nb₂O₅	323	387	337	367	331
MnO	114	129	130	129	128
FeO	138	134	139	138	139
SnO₂	205	198	211	212	203
ZnO	320	313	314	324	319
Ta₂O₅	392	386	385	406	405
SiO₂	157	172	144	163	162
WO₃	834	826	816	843	814

3.7 Mineral Liberation Analysis (MLA)

Die MLA Messungen aller 24 Schwermineral-Präparate wurden an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg am Institut für Mineralogie an einem Rasterelektronenmikroskop REM Quanta 650 FEG der Firma FEI mit permanent strahlender Feldemissionskathode sowie zwei EDX-Detektoren gemeinsam mit und unter Anleitung von Prof. Dr. Bernhard Schulz durchgeführt.

Nach Reinigung der polierten Oberflächen mit Ethanol und Graphitbeschichtung im Vakuum vor Ort gelangten die polierten Dünnschliffe zur Analyse.

3.7.1 Analyse- und Auswerteverfahren

Das MLA-Verfahren soll hier in drei Abschnitten kurz vorgestellt werden, da diese Art der Analytik in den Geowissenschaften noch nicht weit verbreitet ist. Eine sehr gute Übersicht bietet der „Begleittext zu Untersuchungen mit dem Raster-Elektronenmikroskop an Schwermineral-Präparaten (Projekt Leoben-SM1)“ von Prof. Schulz, welcher Teil der Analyseergebnisse war und aus welchem in weiterer Folge auch zitiert wird. Änderungen oder Ergänzungen hinsichtlich dieser Analysen sind mittels Fussnoten ersichtlich und dementsprechend korrigierend abgeändert worden. Einen detaillierteren und umfassenderen Überblick in das MLA-Verfahren bietet z.B. Fandrich et al. (2007) in „Modern SEM-based mineral liberation analysis“.

Die 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.

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

3.7.1.1 *Abschnitt 1: BSE-Grauwertbild- und EDX-Spektrums-Aufnahme*

Die flächenhaften Aufnahme erfaßte die polierten Oberflächen mit den freigelegten Partikeln im Rückstreuелеktronenbild-Modus (BSE) bei **175facher** Vergrößerung. Die Kalibrierung der 250-teiligen Grauwertskala der BSE-Bildaufnahme und die Einstellung von Kontrast und Helligkeit erfolgte mit einem polierten Gold-Standard. Partikel mit Korngrößen unter 1 µm ließen sich dabei nicht mehr zuverlässig und lückenlos erfassen. Die Eichung des energiedispersiven Elementspektrums des EDX-Systems wurde an Cu-Metall vorgenommen. Zur Aufnahme des energiedispersiven Elementspektrums (EDX) und für die Elementanalyse mit zwei gekoppelten Bruker Dual-X-Flash Detektoren erfolgte eine Software-gesteuerte Fokussierung des Elektronenstrahls in das Zentrum einer über die BSE-Grauwertskala definierten Kristall- oder Mineralfläche, auch innerhalb von Partikeln. Die Meßdauer im Modus XBSE- und XBSE-STD (Standardsammeln) betrug pro Probe jeweils etwa 4 h.

3.7.1.2 *Abschnitt 2: Klassifizierung und Gruppierung der EDX-Spektren*

Die Datenauswertung erfolgte mit dem Softwarepaket MLA-Suite 2.907 der Firma FEI unter Verwendung eines an früher gemessenen Proben erstellten Standard-Datensatzes von EDX-Spektren und der erneuten Erfassung von Standard-Spektren aus den vorliegenden Proben³. Der letztlich zum Klassifizieren der Messungen verwendete Standard-Datensatz umfaßte 200 EDX-Spektren der Erz- und Mineralphasen sowie Partikeln von Schmutz und Einbettungsmaterial. Der mit konstanter Beschleunigungsspannung (25 kV) und Elektronenstromdichte (ausgedrückt in der Kenngröße Spot 5,63, entspricht 10 µA) auf die Probenoberfläche treffende Elektronenstrahl bewirkt eine birnenförmig in die Tiefe reichende Anregung der Atome. Randeefekte und wechselseitige Abschwächung von Energiespitzen im Spektrum durch chemische Heterogenitäten bedingen, dass oft mehrere leicht unterschiedliche EDX-Spektren zur Identifizierung der Kristallphasen herangezogen werden müssen. Die natürlich vorkommenden Kristallphasen (Minerale) zeigen durch Mischkristallbildung stark unterschiedliche chemische Zusammensetzungen, die sich auch oft mit den Zusammensetzungen anderer Minerale überlappen. Die Zuordnung von EDX-Spektren zu Mineralbezeichnungen erfolgt über den Vergleich mit

³ Die Erfassung und Sammlung von EDX-Spektren aller vorhandenen Mineralphasen für die Datenbank stellte die Hauptaufgabe meiner Tätigkeiten vor Ort dar. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die unterschiedlichen Titan-, Eisen- und/bzw. Mangengehalte in den Ilmeniten und Rutilen gelegt.

chemischen Analysen in Datenbanken (MinIdent, Webmineral, IMA-Mineral List) sowie eigenen Vergleichsanalysen. Zum Vergleich der gemessenen EDX-Spektren von den einzelnen BSE-Grauwertflächen mit den Standard-EDX-Spektren wurde dem Auswerteprogramm ein Reliability-Parameter von $1e^{-25}$ (Übereinstimmungs-Wahrscheinlichkeit) einer Skala von $1e^{-1}$ (völlige Übereinstimmung) bis $1e^{-100}$ (keine Übereinstimmung) vorgegeben. Versuchsweise Klassifizierungsläufe mit höheren Reliability-Parametern erbrachten keine signifikante Veränderung der Zuordnung. Bei EDX-Spektren mit niedrigen Zählraten (< 1000 cts/s) erfolgte eine Klassifizierung als „Invalid“; EDX-Spektren ohne Gegenstück im Standard-Spektrensatz führen zur Klassifizierung als „Unknown“. Das Einbettungsmittel Epoxid-Harz mit Graphit erscheint mit niedrigen BSE-Grauwerten und wurde als Background (mit BSE-Grauwert < 25) klassifiziert. Im Nachgang zur Klassifizierung der Spektren wurde eine automatische Deagglomeration noch partiell aneinanderhaftender Partikel vorgenommen. Die Einbettungsblätter aus Kleber um die Schwermineralpartikel wurden im manuellen Verfahren aus den Dateien gelöscht.

Um die Tabelle der Mineralphasen und die weitere Auswertung der Daten übersichtlich zu halten ist eine Gruppierung oder Zusammenfassung der jeweils mit einzelnen Spektren gekennzeichneten BSE-Grauwert-Flächen erforderlich. Die Gruppierung kann eine Zusammenfassung unterschiedlicher Spektren unter einem Mineralnamen (z. B. Quarz) und/oder auch einer ganzen Mineralgruppe sowie mehreren Mineralgruppen umfassen. Diese Gruppierung der Spektren⁴ erfolgt auch um für spezifische Fragestellungen bedeutsame Mineral- und Partikel-Sorten in der weiteren Auswertung herauszustellen. Die Namen und die Modalanteile in dieser Liste von gruppierten EDX-Spektren können sich fallweise erheblich von Listen und Anteilen unterscheiden die mit anderen Untersuchungsmethoden (z. B. RDA, XRD) auf Basis anderer Meßsignale bestimmt wurden. Durch diese Gruppierung können sich auch Unterschiede zu den mit dem gleichen Meßverfahren (z. B. QEMSCAN) bestimmten Modalbeständen ergeben. Es erfolgte hier eine gemeinsame Listung von Albit, Plagioklas, Kalifeldspat unter Feldspäte und eine ebenso vereinigte Listung von Phyllosilikaten unter Biotit⁵, in diesem Fall die Glimmer Biotit, Muscovit, Chlorit und Tonminerale. Die Liste der gruppierten Spektren ist als JPG-Datei beigefügt⁶.

⁴ Siehe Gruppierung in diesem Abschnitt.

⁵ Das Mineral Muskovit wird in den vorliegenden Analyseergebnissen von Biotit getrennt separat ausgewiesen.

⁶ Die JPG-Daten befinden sich auf der DVD im Anhang.

3.7.1.3 Abschnitt 3: Erstellung der Datenbank und weitere Auswertung

Zur weiteren Auswertung der Liste von gruppierten EDX-Spektren ("Mineral List"), die Umsetzung von den gemessenen Flächenanteilen in Volumenprozent und insbesondere für die Darstellung von Korn-Parametern und weiteren aufbereitungstechnisch relevanten Parametern in einer Datenbank muß jedem Teil der "Mineral List" ein spezifisches Gewicht und eine chemische Zusammensetzung zugeordnet werden. Es werden hier durchschnittliche Werte aus den Mineral-Datenbanken MinIdent, Webmineral, IMA-Mineral List sowie an den Proben selbst bestimmte Werte eingesetzt, die aber fallweise je nach Art der Gruppierung erheblich von den tatsächlichen Gehalten abweichen können. Bei der Messung und Erstellung der Standard-Datenbank ergaben sich mehrere in ihrer Zusammensetzung leicht unterschiedliche Phasen z. B. von Feldspäten, Phyllosilikaten Cu-Fe-Sulfiden. Diese chemisch geringfügig variabel zusammengesetzten Phasen wurden dann für die Mineraltabelle unter stöchiometrisch vereinfachter Zusammensetzung gruppiert. Alle weiteren Berechnungen, z. B. *Calculated Assay*, *Elemental Distribution*, *Particle Density Distribution* beruhen auf den in dieser Mineraltabelle *MineralReference* gegebenen chemischen Zusammensetzungen und Angaben der Dichte. Es können sich durch diese pauschalierten und gruppierten Angaben auch Abweichungen zwischen dem *Calculated Assay* und einer chemischen Analyse mit Röntgenfluoreszenz ergeben. Entscheidend ist, daß mit der hier verwendeten Methode die relativen Unterschiede zwischen den Proben abgebildet werden⁷. Ergänzungen zu Probennummern direkt in Abbildungen sind durch das Prozessieren im Rechner erzeugte Bezeichnungen und Kürzel für die Proben⁸.

Die Daten lassen sich auch in verschiedenen Siebkorngrößenklassen betrachten. Dazu wurden die Partikel des gemessenen Datensatzes "elektronisch" mit der Eingabe von Parametern gesiebt. Der Parameter "ECDiameter in µm" kam dabei zur Verwendung. Im vorliegenden Fall wurden kleine Partikel unter 20 µm Durchmesser („Staubschmutz“) abgesiebt. Die verbleibenden Dateien umfassen immer noch mindestens 98 Gew.% der ungesiebten Proben⁹.

Es wurden auch die BSE-Bilder sowie die zusammengeführten klassifizierten Dateien als JPG-Files sowie zur Betrachtung im MLAVIEWS erstellt. Alle Dateien sind als Datenbank-Files geliefert.

⁷ Siehe Modalbestand unter Ergebnisse.

⁸ Siehe Bezeichnungen in diesem Abschnitt.

⁹ Für die vorliegenden Fragestellungen nicht relevant, daher auch nicht durchgeführt.

Weiterhin wird die Datenbank mitsamt den bereits darin eingeladenen Datenbank-Files versendet¹⁰.

3.7.2 Eigene Auswertung

Die originale Probenbezeichnung der MLA Messungen beginnt mit dem Präfix Leo und der zweistelligen Nummer der üblichen Probennummerierung (z.B. für die Probe PL013007 – Leo07). Die Bezeichnung wurde für die hier vorliegende Arbeit dementsprechend auf die einheitliche Bezeichnung PL013xxx abgeändert, die Originaldaten im Anhang auf DVD tragen jedoch weiterhin das Präfix Leo.

Die Auswertung der modalen Mineralbestände und die Ilmenit-Verwachsungen erfolgt mit der Software „MLA Dataview“ Version 2.9.0.7 der Firma FEI. Die tabellarisch berechneten Werte werden in ein Excel Format exportiert um anschließend grafisch dargestellt werden zu können¹¹.

Zur besseren und übersichtlichen Darstellung wurde eine neue Mineralnamen-Bezeichnung eingeführt, die Gegenüberstellung der Originalbezeichnung und die „neuen“ Namen sind in Tab. 7 ersichtlich. Vier Minerale sind nicht mehr angeführt, da deren Modalgehalt bei allen gemessenen Proben bei 0,00 Gew% lag. Eine Gruppierung der Minerale erfolgte nach Sinnhaftigkeit und Darstellungswunsch bei den Ergebnissen.

¹⁰ Die versendeten Originaldaten, sowie die Software befinden sich auf der DVD im Anhang.

¹¹ Die Software selbst bietet ebenso die Möglichkeit einer grafischen Darstellung.

Tab. 7: MLA-Mineralnamen original und neue Bezeichnung.

Mineral_original	Mineral „neu“	Mineral_original	Mineral „neu“
Ilmenite-Fe-loMn	Ilmenit	Aluminiumsilicates	Al-Silikate
Ilmenite-lowFeMn	Ilmenit ohne Mn	Tourmaline	Turmalin
Garnet	Granat	Sulfides	Sulfide
Zircon	Zirkon	W-Minerals	W-Minerale
Apatite	Apatit	Korund	Korund
Monazite	Monazit	Cassiterite	Kassiterit
Xenotime	Xenotim	Spinel	Spinell
Biotite	Biotit	Carbonate-Sulfate	Karbonat-Sulfate
Quartz	Quarz	Topaz	Topaz
Amphibole-Pyroxene	Amphibol-Pyroxene	Artefacts	Artefakte
Titanite	Titanit	Invalid	Fehler
Rutile-TiO ₂	Rutil-TiO ₂	nicht mehr angeführte Minerale:	
Feldspars	Feldspat	Rutile-Nb	x
Muscovite	Muskovit	Nb-Ta-Minerals	x
Fe-Mn-Oxides	Fe-Mn-Oxide	Chromite	x
Epidote	Epidot	Gold	x
Ilmenite-Fe-hiMn	Ilmenit viel Mn kein Fe		

3.7.3 Messbedingungen MLA

Die Messbedingungen waren neben einem Hochvakuum eine Beschleunigungsspannung von 25 kV ein Strahlstrom von 10 μA , sowie eine nur für MLA-Zwecke verwendeter Spot von 5.65 (Maß mit Strahlstrom und Blendenöffnung; Einheitslos). Die Kalibrierung von Helligkeit und Kontrast erfolgte auf Gold mit 254 als Wert für den hellsten BSE-Grauwert. Der Background BSE-Wert war 25, die Messzeit betrug pro Spektrum/Spot 16 ms, dies entspricht 2000 cts/s.

4 Ergebnisse

4.1 Mineralogie der Schwermineralkonzentrate

Der mikroskopisch bestimmte Modalbestand der SM-Proben umfasst Ilmenit, Granat, Apatit, Zirkon, Eisenoxide, Titanoxide, Titanit, Sulfide, Monazit, Xenotim, Biotit, Muskovit, Feldspäte, Pyroxene und Amphibole. Eigenständige Nb/Ta-Mineralen konnten in keiner der Proben mikroskopisch festgestellt werden. Ilmenit kann als das in jeder Probe dominante Schwermineral angesehen werden, die Ausnahmen bilden hier lediglich die GG-Proben. Als Nebengemengteile treten Granat, Apatit und Zirkon in unterschiedlichen Mengen auf. Die übrigen Minerale bilden den akzessorischen Anteil.

Die Mineralkörner können als angular bis kantengerundet beschrieben werden, dies ist darauf zurückzuführen, dass die Transporteinwirkung auf Schwerminerale durch Abnutzung und Zerkleinerung als generell gering angesehen wird (Russel, 1936; Andel, 1950). Nach Boenigk (1983) ist die Korngröße der verwitterungsresistenten Schwerminerale von der primären Korngröße des Liefergebietes abhängig. Entscheidender noch ist der Sortierungseffekt durch den Transport, durch welchen einige Minerale wie z.B. Rutil und Zirkon als überwiegend kleine Körner auftreten und somit in feinkörnigen Sedimenten unabhängig vom Liefergebiet dominieren.

Das nachfolgende Kapitel soll einen kurzen Einblick in die Titanmineralphasen und eine mikroskopische Beschreibung dieser sowie der wichtigsten Nebengemengteile liefern.

Die Alteration/Verwitterung von Ilmenit führt zu einer Fe-Abfuhr und somit zu einer Ti-Anreicherung. Diese Verwitterungsprodukte werden als „alterierter Ilmenit“ bezeichnet. Das Endprodukt ist Leucoxen meist bestehend aus sekundärem polykristallinem Rutil, sowie Resten von

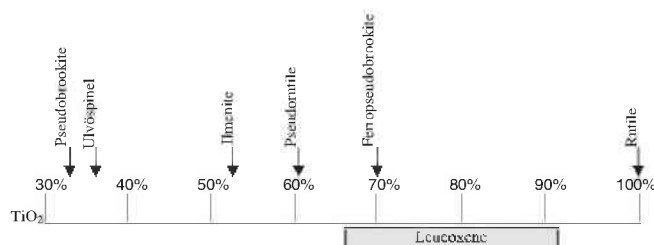


Abb. 11: Theoretischer TiO_2 -Gehalt in FeTi-Oxidphasen (Gew. %), mit FeO und Fe_2O_3 als zweite Endglieder in diesem binären System (Reyneke & Wallmach, 2007).

Pseudorutil (PSR), Abb. 11 gibt eine Übersicht der Alterationsprodukte mit den theoretischen TiO_2 -Gehalten der Phasen. In der Schwermineralindustrie wird Leucoxen generell als Alterationsprodukt des Ilmenits mit einem TiO_2 Gehalt von 65-90% bezeichnet (Reyneke & Wallmach,

2007). Rutil, Ilmenit und Titanit stellen die wichtigsten Titanminerale dar. Rutil ist u.a. ein wichtiger Nb- und Ta- Träger und findet als geochemisches Fingerprint- Mineral Anwendung (Meinhold, 2010; Thalmann & Hausberger, 1989).

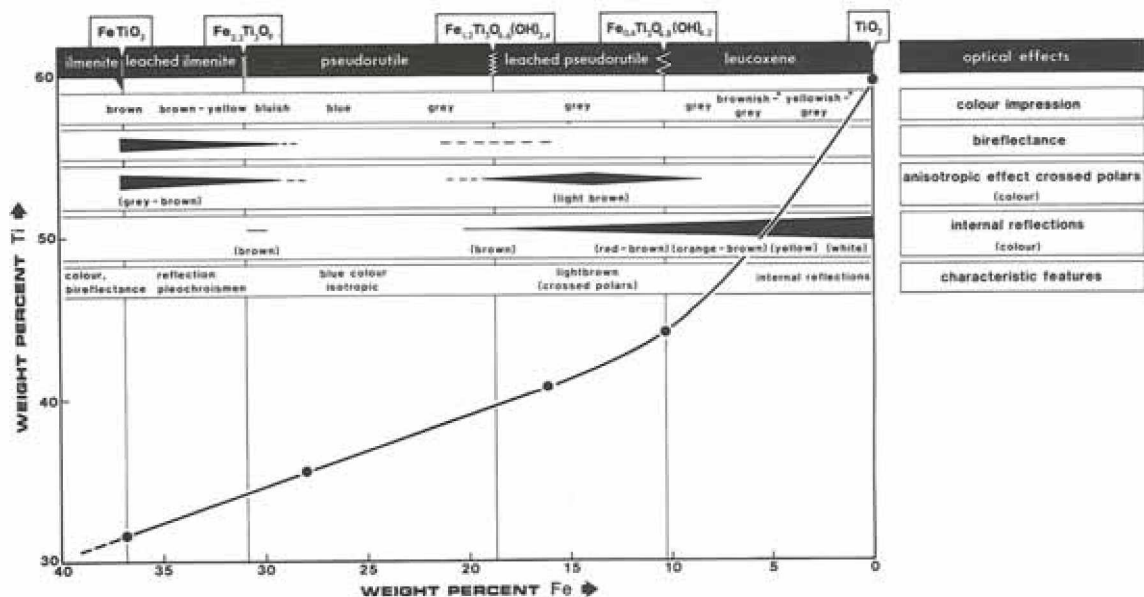


Abb. 12: Erzmikroskopische Eigenschaften von Ilmenit und dessen Alterationsprodukte in einem Ti:Fe-Diagramm (Mücke & Bhadra Chaudhuri, 1991).

Bei der Alteration von Ilmenit zersetzt sich dieser unter Bildung von Ti-reicheren Mineralphasen wie Pseudorutil, Ferropseudobrookit, Anatas und Rutil. Tab. 8 zeigt die Alterationsprodukte mit chemischer Formel und den theoretischen TiO_2 -Gehalt. Während dieses Alterationsprozesses kommt es zu einer Auslaugung von Fe und einer damit verbundenen Porositätszunahme im Mineralkorn während Ti in Rutil und/oder Anatas rekristallisiert. Mit zunehmender Alteration wird Ilmenit durch Pseudorutil und Ferropseudobrookit bis hin zu dessen Verschwinden vollständig ersetzt. Anatas-reicher Leucoxen ist häufig ein direktes Alterationsprodukt und wandelt Ilmenit entlang von Korngrenzen und Spaltrissen um (Reyneke & Wallmach, 2007).

Abb. 12 zeigt die Abfolge der Ilmenitalteration in Abhängigkeit des Ti- zu Fe-Gehalts nach optischen Eigenschaften (Mücke & Bhadra Chaudhuri, 1991). Die einzelnen Stadien werden wie folgt beschrieben: Nicht alterierter Ilmenit – ausgelaugter („leached“) Ilmenit – Pseudorutil – ausgelaugter Pseudorutil – Leucoxen – primärer Rutil. Leucoxen, das finale Alterationsprodukt des Ilmenits, bestehend aus polykristallinen Rutilaggregaten, ist charakterisiert durch Schrumpfungsriffe.

Tab. 8: Ilmenit und dessen Alterationsprodukte mit Formel und theoretischem TiO₂-Gehalt (Reyneke & Wallmach, 2007).

Mineral	Formula	Theoretical TiO ₂ content
Ilmenite	Fe ²⁺ TiO ₃	52.7% TiO ₂
Pseudorutile	Fe ³⁺ ₂ Ti ₃ O ₉	60.0% TiO ₂
Ferropseudobrookite	Fe ²⁺ Ti ₂ O ₅	69.0% TiO ₂
Rutile/Anatase	TiO ₂	100.0% TiO ₂

4.1.1 Ilmenit

Die mikroskopisch untersuchten Ilmenite zeigen im Auflicht eine leicht bräunliche Eigenfarbe mit an Luft schwach erkennbarer Bireflexion und Pleochroismus. Der Anisotropieeffekt bei eingeklapptem Analysator ist dagegen deutlicher sichtbar. Die Mineralkörner treten überwiegend angular bis kantengerundet auf.

Die Ilmenite des Untersuchungsgebietes weisen einige strukturelle und mineralogische Unterschiede auf:

- Homogener nicht alterierter Ilmenit
- Alteration an Randbereichen mit TiO₂/FeO Verhältnissen von 70/15 (Ferropseudobrookit) im Gegensatz zu Kornmitte 51/43 (Probe 29E24)
- Mit an Rändern und Spaltrissen beginnender Alteration, und damit einhergehender Ti-Anreicherung (Abb. 13), (Probe 03A11, 01A11)
- Anatas-reicher Leucoxen (?) in Spaltrissen und Rändern von Ilmenit (Abb. 15) (nach Reyneke & Wallmach, 2007)
- Ilmenit mit hypidomorphen Rutil/Anatas Verwachsungen und Bereichen mit Ti-Anreicherung zugunsten von Fe und Mn (Probe 29E51)
- Alterierter Ilmenit mit Titanoxiden und Hämatit, welcher anhand der blutroten Innenreflexe bei gekreuzten Polarisatoren gut erkennbar ist (Probe 11A114).

Nicht alterierter Ilmenit kommt wesentlich häufiger vor als die alterierten Varietäten. Mineralogische Verwachsungen und Einschlüsse sind vielfach zu beobachten. Diese sind vor allem Zirkon (Abb. 16), Ti-Oxide, Glimmer, Monazit, Xenotim, Quarz, und seltener Titanit, Feldspat, Apatit und Sulfide. Eine reine monomineralische Ausbildung der Ilmenitkörner ist eher selten, meist sind zumindest winzige Glimmerverwachsungen zu erkennen. Zwillingslamellierung nach meist mehreren Richtungen ist ebenso zu beobachten (Abb. 17).



Abb. 13: Ilmenit (großes Korn Bildmitte) mit beginnender Alteration zu Pseudorutil am Rand und entlang von Mikrorissen; 10fache Vergrößerung, Nicols parallel, Korn 01A11 (Foto: 01A11_10IIN2_m - Arbeitskopie 2.jpg).

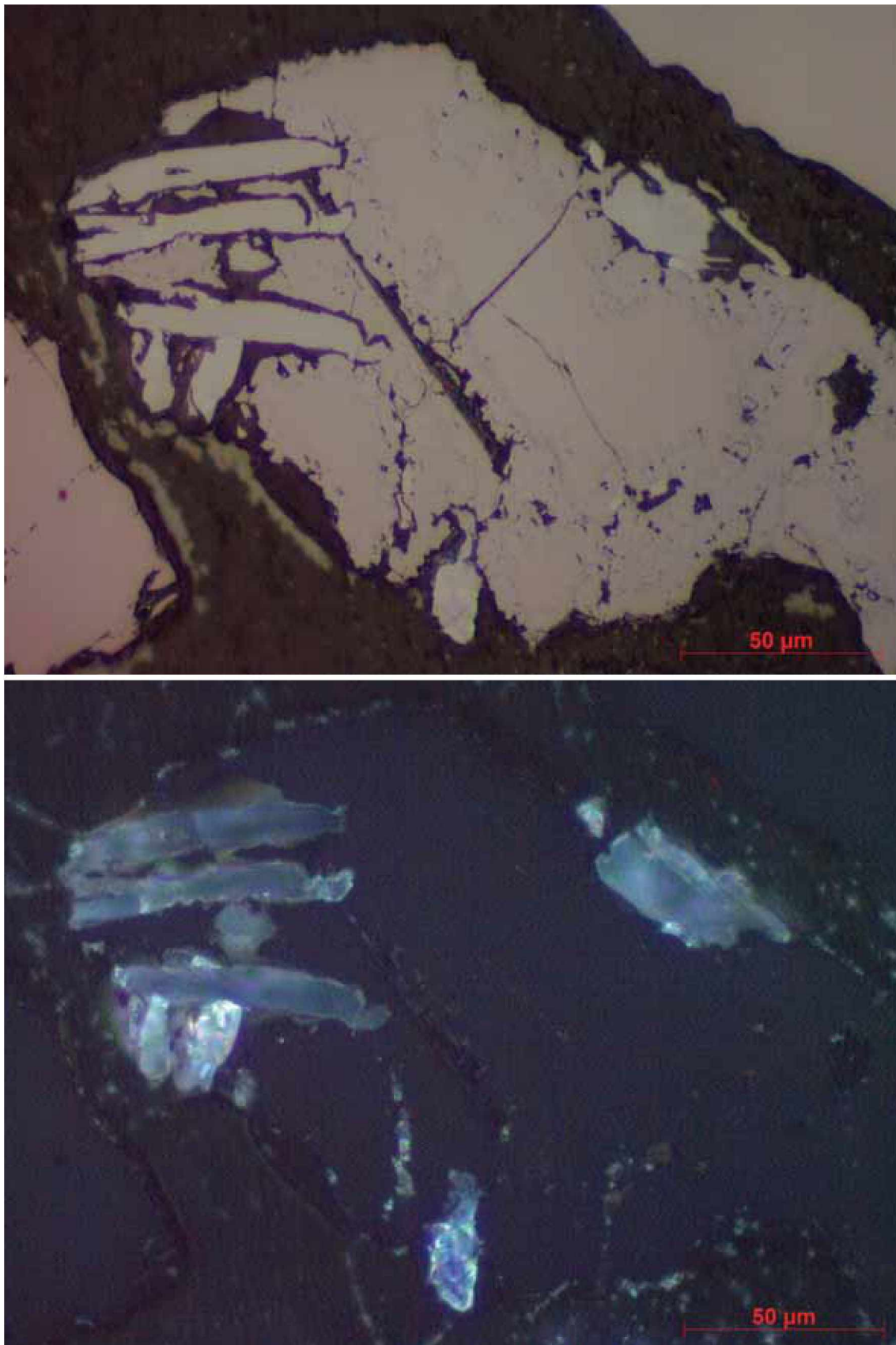


Abb. 14: Ilmenit verwachsen mit hypidomorphem Anatas (unteres Bild +N: bläulich) und Fe-Abfuhr in den grünlischen Randbereichen; 50fache Vergrößerung, Nicols parallel (oben) und gekreuzt (unten), Probe 07A13 (07A13-Ilm+Rut_50IIN).

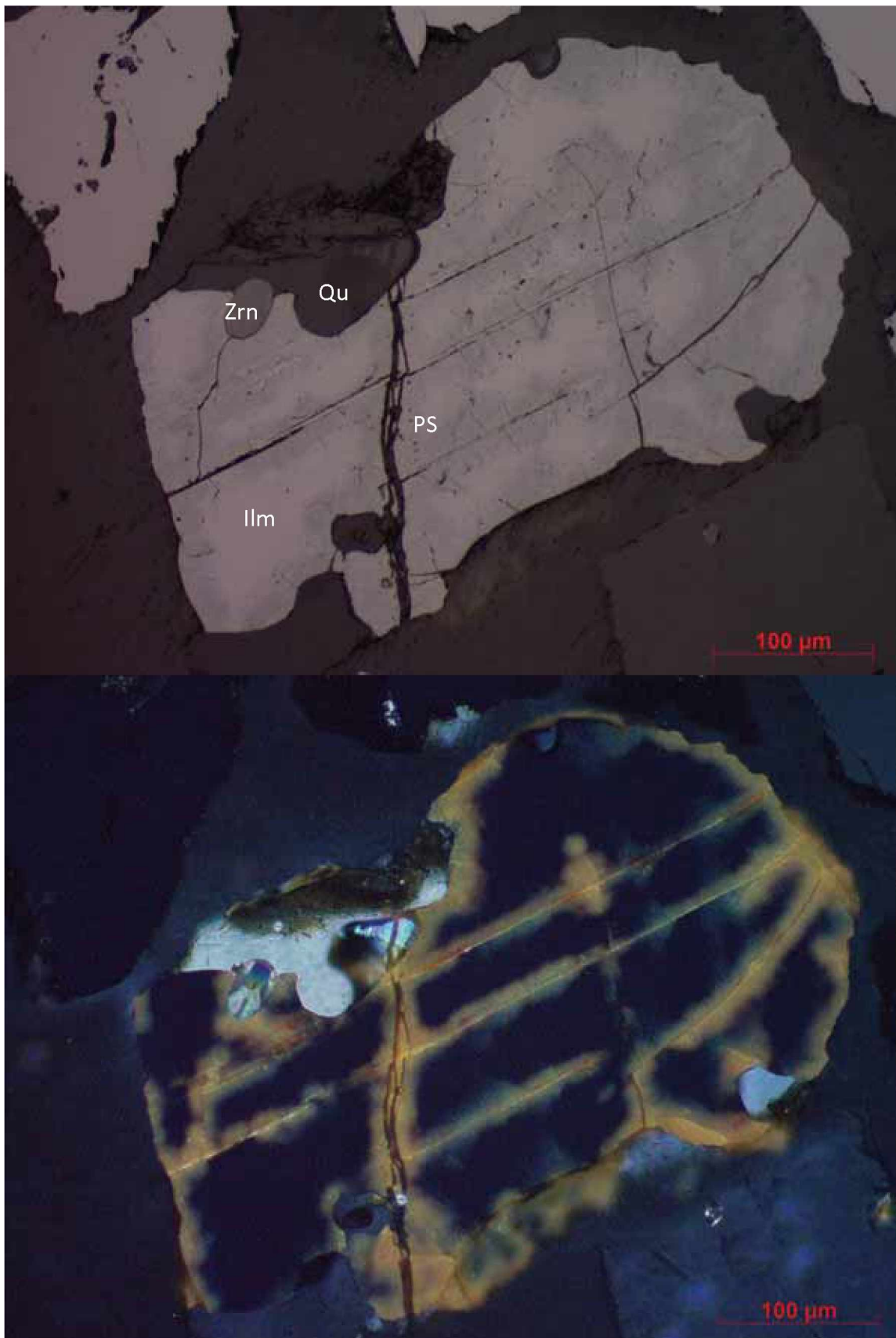


Abb. 15: Ilmenitkorn mit drei Titan-Phasen: Nicht alterierter Ilmenit (//N, Bild oben, braungrau, Ilm) mit Umwandlung in Pseudorutil entlang von Rissen (//N, Bild oben, grau-blau, PS) und in Leucoxen in den Rissen (+N, Bild unten, gelblich). Einschluss von Zirkon (Zrn) und Verwachsung mit Quarz (Qu). (20fache Vergrößerung, oben //N, unten +N, Probe 03)

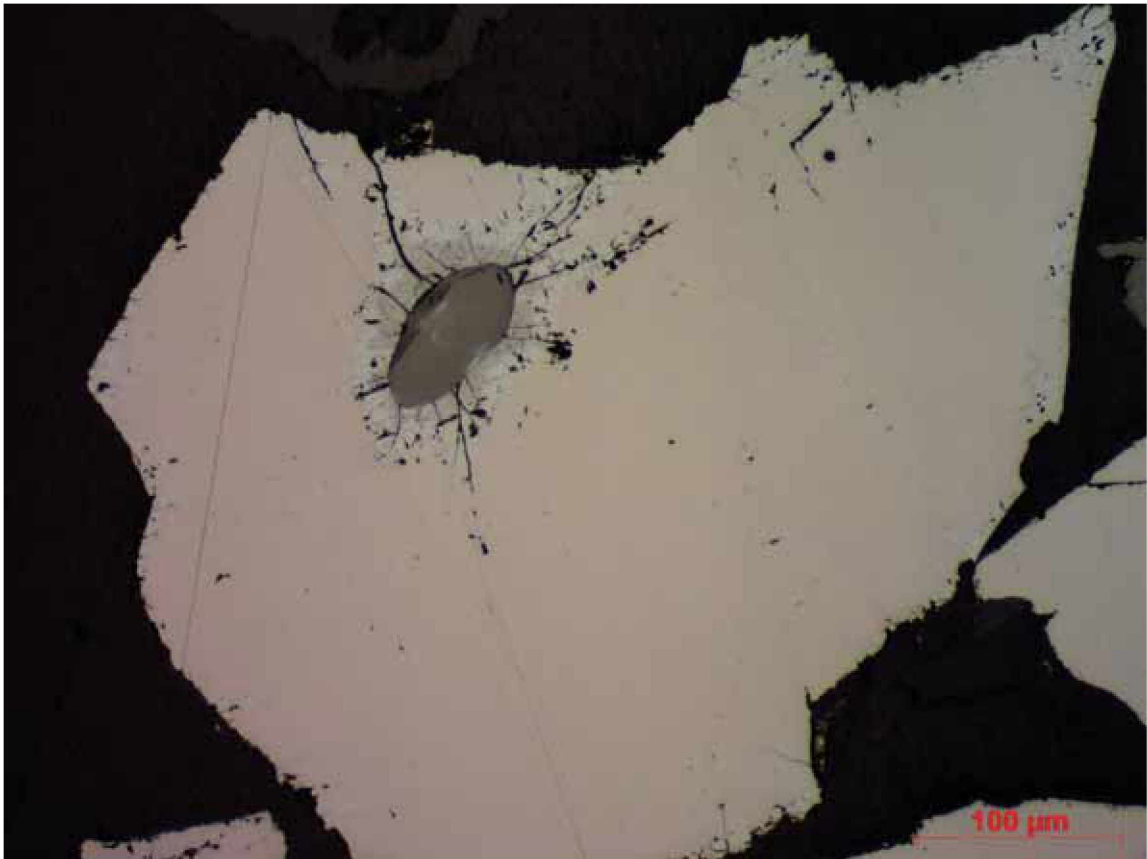


Abb. 16: Ilmenit mit Zirkoneinschluss umgeben von einem elliptischen Alterationshof (randliche Verdrängung durch Pseudorutil und Leucoxen). Die saumartige Alteration um den Zirkon könnte durch radioaktive Strahlung, die die Gitterstruktur des Ilmenits in der Nähe des Zirkons zerstört hat, begünstigt worden sein. (20fache Vergrößerung, //N, Probe 01 Kreis A; Foto 01A-Ilm+Zir_20IIN_m2).

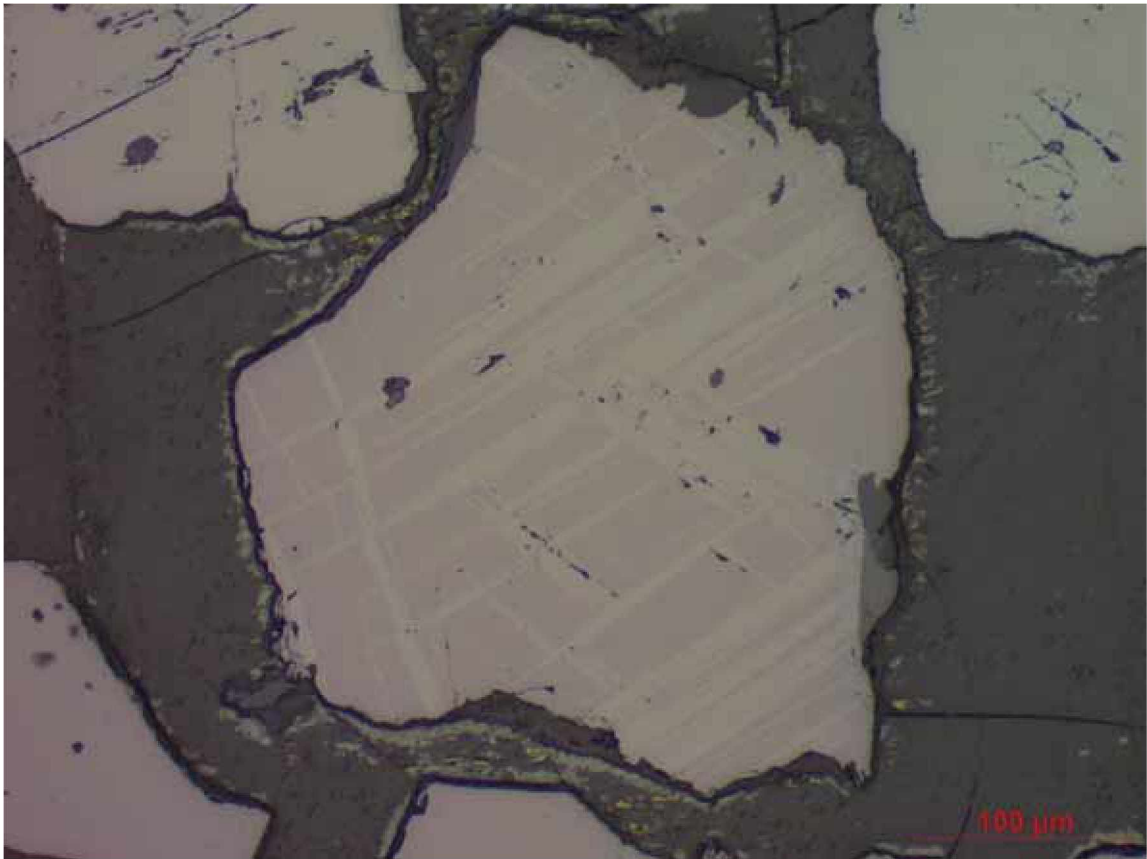


Abb. 17: Monomineralisches Ilmenitkorn mit Zwillingslamellen in drei Richtungen. Dadurch wird die Bireflexion von Ilmenit deutlich erkennbar; 20fache Vergrößerung, Nicols parallel, Korn 11D41 (Foto: 11D41-IlmLamellen)

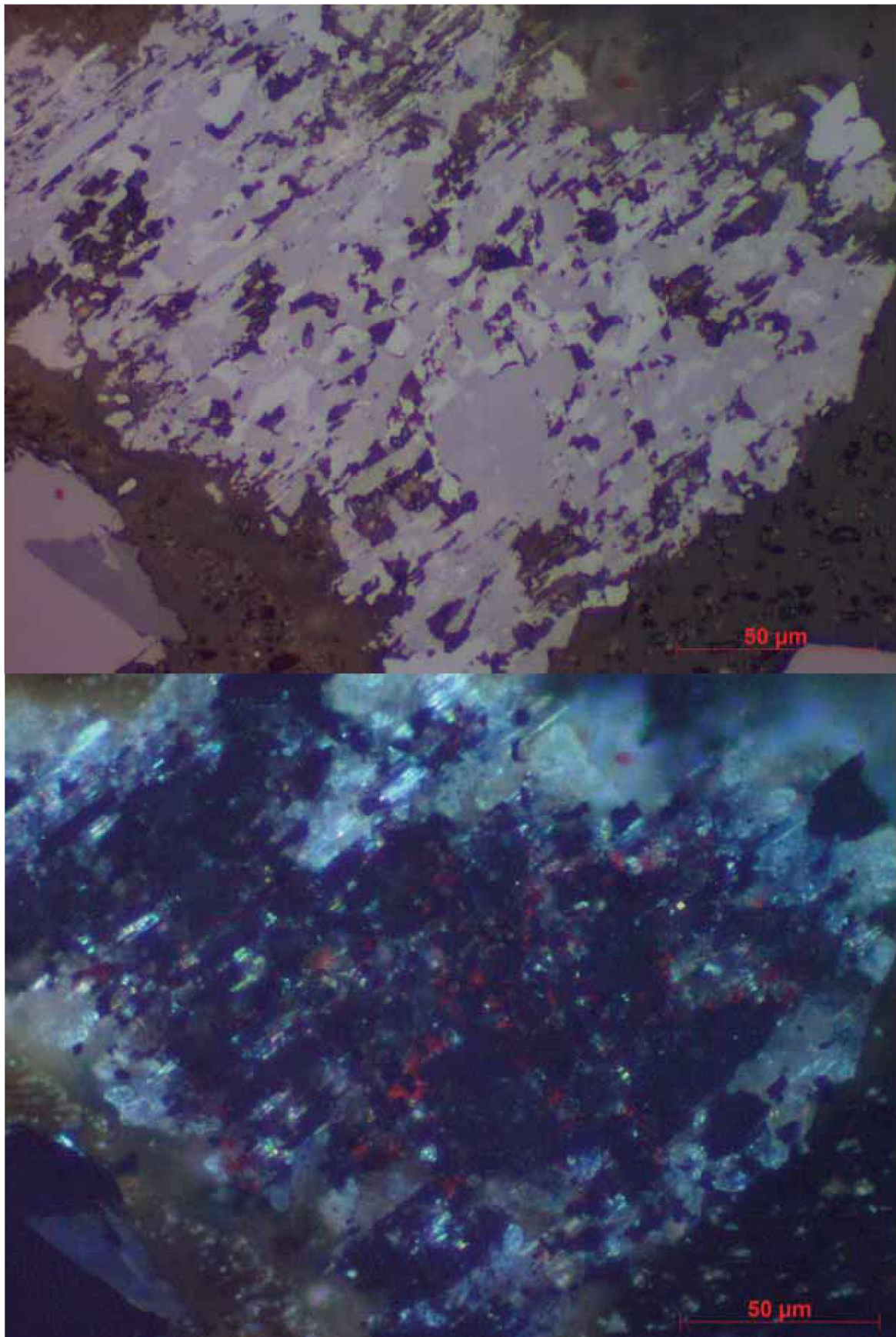


Abb. 18: Stark alterierter Ilmenit umgewandelt in überwiegend Anatas (weiß-blaue Innenreflexe) und Hämatit (blutrote Innenreflexe); Auflicht, 50fache Vergrößerung, Nicols parallel (oben) und gekreuzt (unten). (Foto: 11A114-Rut+Ilm+Leuc_50+N2_m.jpg)

4.1.2 Titanoxide (Rutil, Anatas, Brookit)

Da eine klare Unterscheidung der TiO_2 -Minerale Rutil, Anatas und Brookit mikroskopisch aufgrund der pseudomorphen Entstehung aus Ilmenit nicht immer sicher ist, werden diese als Titanoxide zusammengefasst.

Das Reflexionsvermögen dieser Phasen im Auflicht ist deutlich höher als jenes von Ilmenit, die Farbe ist im Vergleich zu Ilmenit eher weiß-grau. Bei gekreuzten Polarisatoren zeigt Rutil meist milchig-weiße Innereflexe, Anatas hingegen bläulichweiße (Abb. 19).

Alle Titanoxide treten als Verdrängungsprodukte von Ilmenit auf (siehe 4.1.1 Ilmenit). Größere Einzelkörner konnten nicht beobachtet werden. Die mit Ilmenit verwachsenen polymineralischen Körner liegen in hypidomorpher (Abb. 14) bzw. xenomorpher Form vor. Nadelförmige Ausbildungen konnten ebenfalls beobachtet werden.

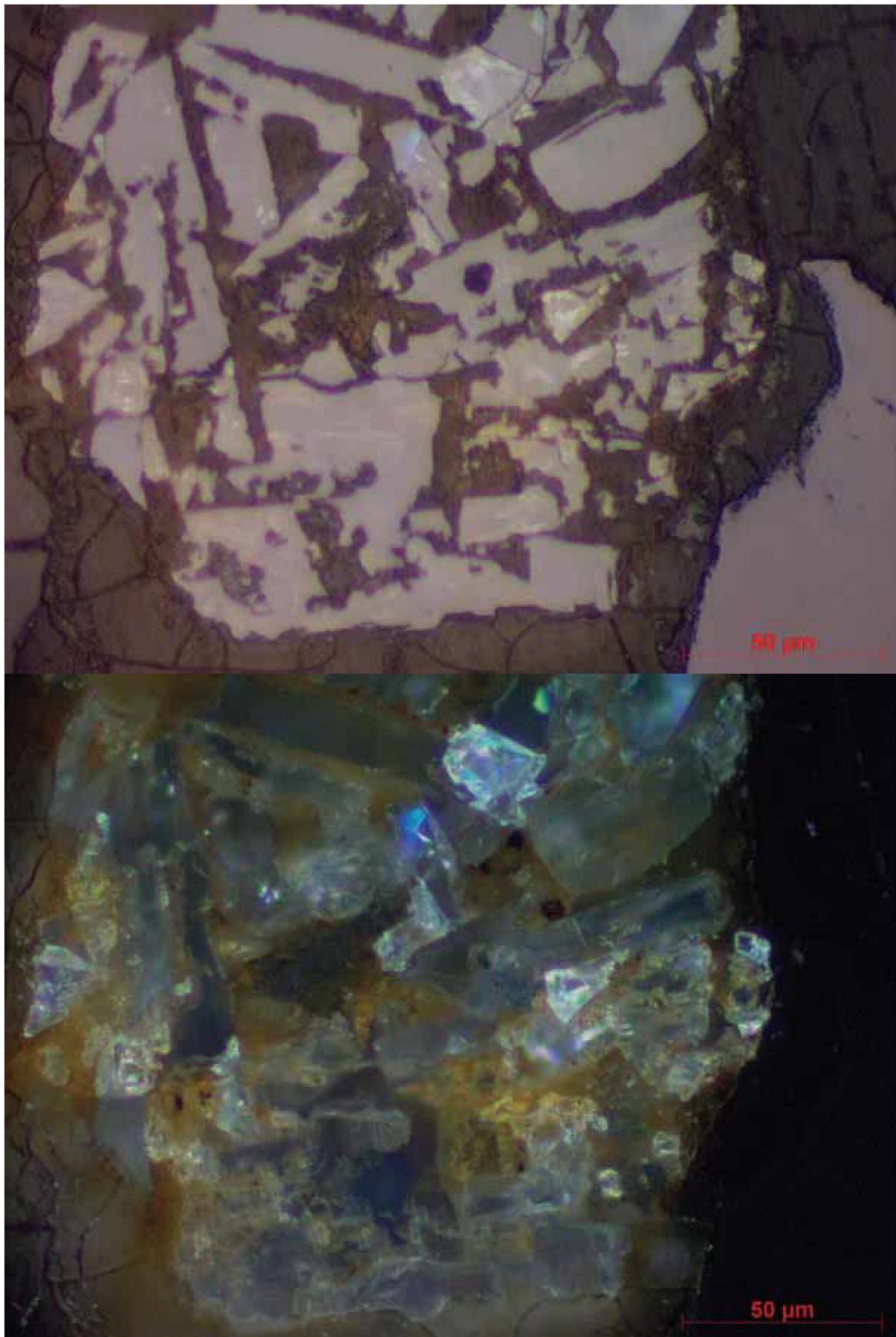


Abb. 19: Vorwiegend in Anatas (+N: bläulich) und Leucosin (+N: gelblich) umgewandelter Ilmenit. Auflicht, 50fache Vergrößerung, Nicols parallel (oben) und gekreuzt (unten), Probe05C31. (Foto: 05C31-TiO_50+N)

4.1.3 Zirkon

Zirkone treten als monomineralische idiomorphe Kristalle auf (Abb. 20), können aber auch kantengerundet sein. Oft liegen sie als Einschlüsse in Ilmenit und anderen Mineralen (Abb. 21) vor.

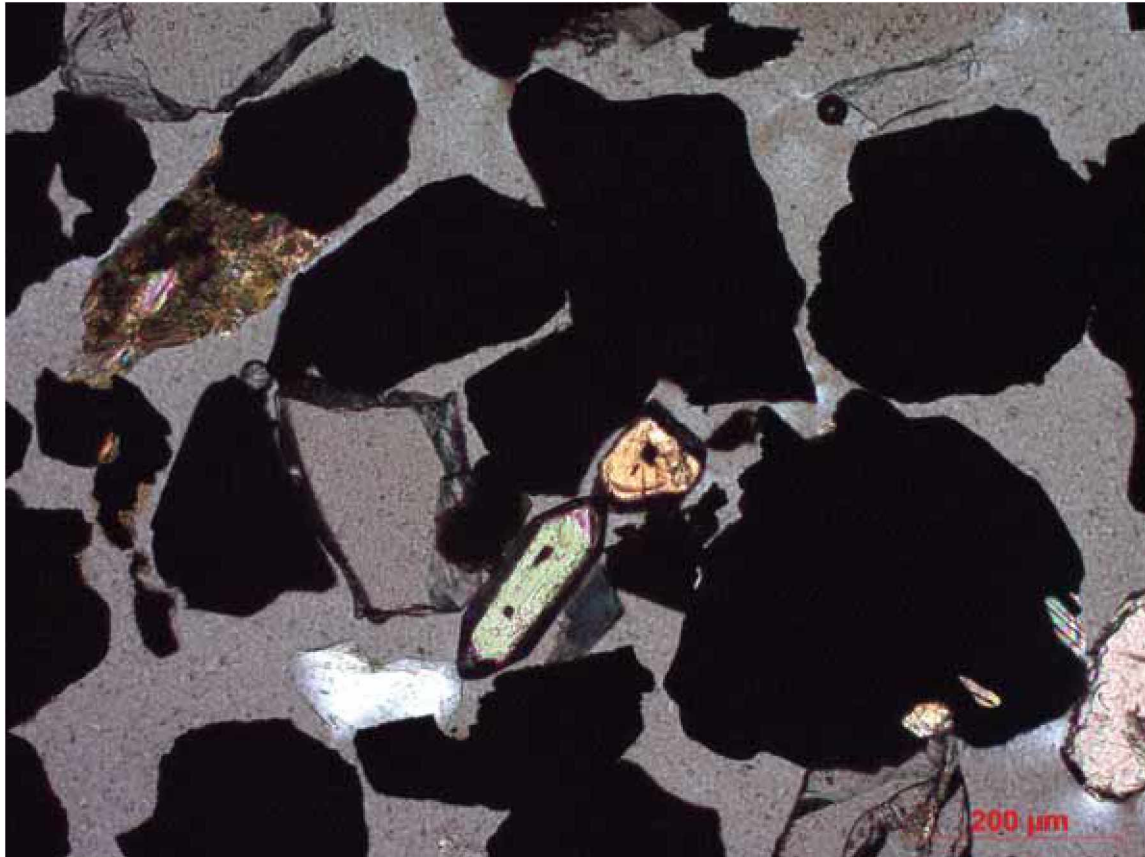


Abb. 20: Zwei Zirkone (bunt, Bildmitte) in unterschiedlicher Schnittlage; Durchlicht, 10fache Vergrößerung, Nicols gekreuzt, Probe 01 (Foto: 01-Zirkon-Granat-Grp_DL_10+N_mm).

4.1.4 Monazit und Xenotim

Die beiden Phosphatminerale bilden einerseits monomineralische idiomorphe Kristalle, seltener unregelmäßige Bruchstücke aus. Meist treten sie als Einschlüsse, vorwiegend im Ilmenit auf. Sie können selbst jedoch auch Einschlüsse aufweisen (Abb. 21).

4.1.5 Granat

Granat ist in allen Proben anzutreffen, die Proben 5 und 17 weisen den höchsten Granatanteil aller Proben auf. Die Körner sind meist als scharfkantige, unregelmäßige Bruchstücke mit deutlichen Rissen ausgebildet (Abb. 21).

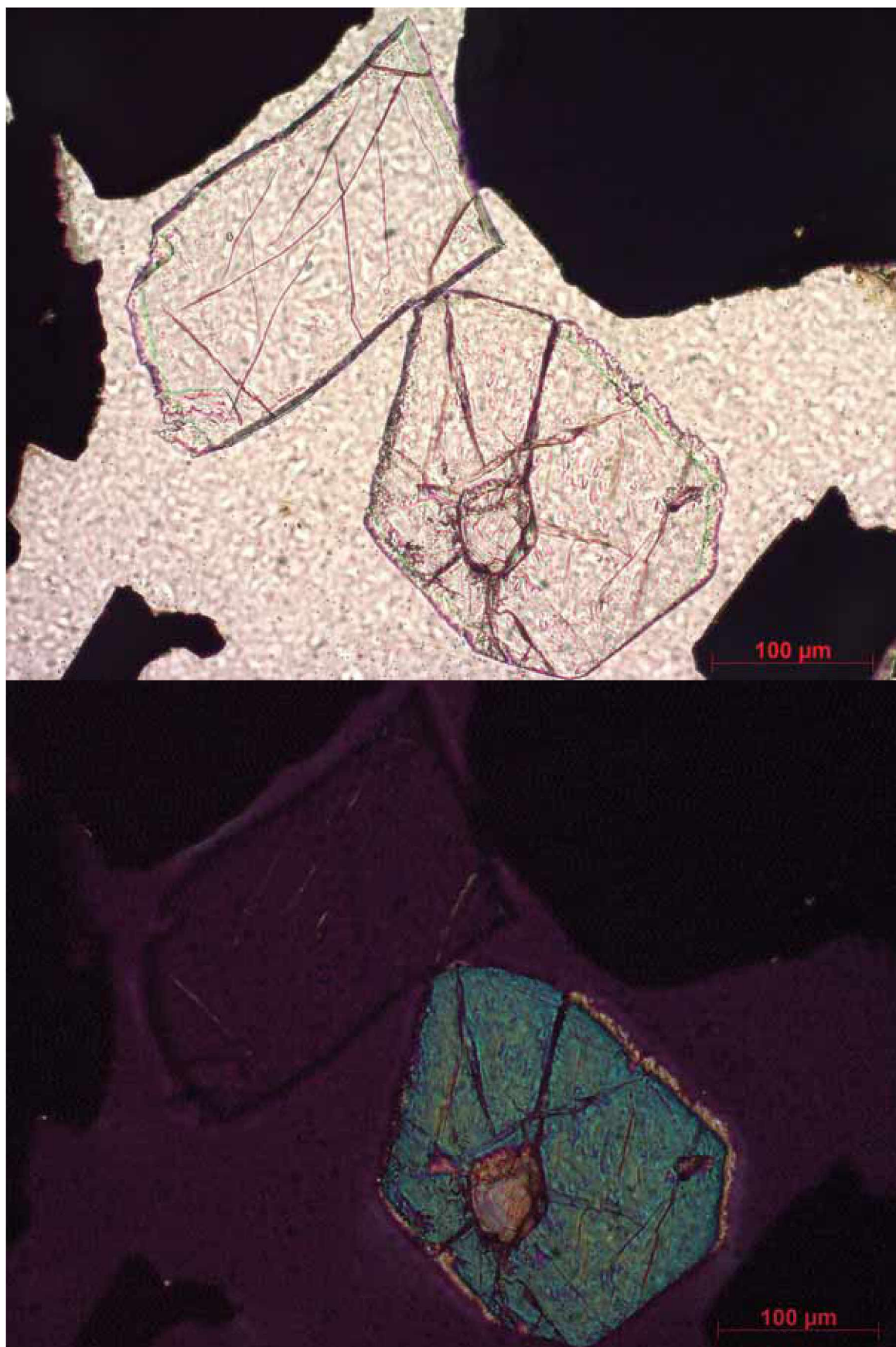


Abb. 21: Xenotim (unteres Korn) mit Zirkoneinschluss. Granat (links oberhalb von Xenotim). Durchlicht, 20fache Vergrößerung, Nicols parallel (oben) und gekreuzt (unten), Probe 01 (Foto: 01-Xe+Zirk_DL_20IIN_m).

4.2 MLA Analysen

4.2.1 Modalbestand und Beschreibung der Mineralphasen der SM- und GG-Konzentrate

Die durch die MLA Analysen ermittelten modalen Mineralbestände der 21 SM- und 3 GG-Proben sind in Tab. 9 als Gewichtsprozente je Probe ausgewiesen. Zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Proben untereinander sind alle Minerale $\geq 1,2$ Gew% grafisch in Säulenform dargestellt, jene darunter sind in „Sonstige“ gruppiert (Abb. 22). Die auffallendsten Unterschiede im Vergleich zum Gros der Bachsediment-Proben hinsichtlich Mineralzusammensetzung verzeichnen die Granitgrus-Proben und die Probe 9.

Der durchschnittliche Ilmenitgehalt bezogen auf die Mineralbezeichnung „Ilmenit“ der SM-Proben liegt bei 71,1 Gew% (Sandl) bzw. 70,1 Gew% (Weitra). Davon weichen die Probe 5 mit 55,5 Gew%, die Probe 9 mit 27,2 Gew%, beide aus Sandl, und die Probe 49 aus Weitra mit 53,7 Gew% stark ab. Der durchschnittliche Ilmenitgehalt von GG im Vergleich dazu beträgt lediglich 13,7 Gew%.

Auch bei anderen Mineralen zeigen SM und GG deutliche Unterschiede. So liegen die Durchschnittswerte von Apatit für SM bei 5,3 Gew% (Sandl) bzw. 9,6 Gew% (Weitra) und für GG bei 63,0 Gew%.

Der Granatgehalt der verschiedenen SM-Proben in Sandl variiert enorm, so weisen die Proben 5, 17 und 29 mit 20,0 19,5 bzw. 17,7 Gew% einen sehr hohen Anteil auf, die Proben 43, 37 und 3 mit 0,5 0,9 und 1,7 Gew% den geringsten. Der Durchschnittsgehalt liegt bei 7,8 Gew%. Die Weitra Proben sind mit Werten von 1,9 bis 4,2 Gew% wesentlich Granat-ärmer, mit einem durchschnittlichen Gehalt von 3,0 Gew%. Der mittlere Gehalt für GG ist noch geringer und liegt bei 0,3 Gew%.

Der durchschnittliche Zirkon Gehalt liegt bei 2,2 (SM Sandl) bzw. 7,0 (SM Weitra) und 8,0 Gew% (GG).

GG weisen die höchsten Monazitgehalte auf (4,2 Gew%), gefolgt von SM-Weitra (3,4 Gew%) und SM-Sandl (1,3 Gew%).

Xenotim ist mit mittleren Gehalten von 1,8 (SM Sandl) bzw. 0,7 (SM Weitra) und 1,0 Gew% (GG) vertreten.

Die in Abb. 23 a bis x dargestellten Kreisdiagramme veranschaulichen den Modalbestand der einzelnen Proben im Detail. Der linke kleinere Kreis zeigt alle modalen Mineralbestände einer Probe mit ≥ 5 Gew%, die Phasen < 5 Gew% sind im rechten größeren Kreis dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden Minerale deren Gewichtsprozent $< 0,10$ sind, Artefakte und Fehler unter „Sonstige“ zusammengefasst.

Von den SM-Proben aus Sandl ist die Probe 9 erwähnenswert (Abb. 23 e), welche die am stärksten abweichende Mineralzusammensetzung aufweist. So ist der hohe Amphibol/Pyroxen Gehalt mit 24,9 Gew% bei einem Mittelwert von 1,9 Gew% der sonstigen SM-Proben aus Sandl am auffallendsten. Diese Probe zeigt weiters die höchsten Gehalte an Titanit-, Epidot- und Fe-Mn-Oxiden aller Proben. Außerdem weist sie den höchsten Zirkongehalt, sowie den niedrigsten Xenotimgehalt aller Proben in Sandl auf.

Zwei von drei Weitra Proben, Nummer 47 und 49, unterscheiden sich von den SM Proben in Sandl hinsichtlich höherem Monazitgehalt und relativ niedrigem Granatgehalt. Auffallend sind auch die Zirkongehalte dieser zwei Proben, welche deutlich über jenen von Sandl liegen. Außergewöhnlich ist weiters der für SM extrem hohe Apatitgehalt von 17,8 Gew% der Probe 49.

Der modale Mineralbestand der Granitgruse beider Probenahmegebiete kann hingegen als überwiegend ähnlich betrachtet werden. Auf die Unterschiede zwischen GG und SM wurde bereits vorher eingegangen.

Kassiterit, Spinell, Karbonate/Sulfate und Topaz liegen in so geringen Mengen vor, dass sie lediglich der Vollständigkeit wegen in Tab. 9 angeführt wurden.

Tab. 9: Modaler Mineralbestand der einzelnen Proben in Gewichtsprozent und Mittelwerte für Sandl, Weitra und GG ermittelt aus den MLA-Analysen. (Die Probennummern sind ohne den Präfix P1013xxx dargestellt).

[Gew %] Proben Nr.:	SM-Sandl																	SM-Weitra			Granitgnus			Mittelwerte			
	1	3	5	7	9	11	17	19	21	23	25	27	29	35	37	39	41	43	45	47	49	13GG	15GG	53GGW	Sandl	Weitra	GG
Ilmenit	70,99	83,62	55,51	74,36	27,21	75,62	65,17	72,44	79,34	69,27	79,97	80,39	60,36	70,70	80,81	67,45	83,82	82,80	84,16	72,34	53,74	11,72	18,31	11,14	71,10	70,08	13,72
Ilmenit ohne Mn	1,23	1,32	1,14	0,77	1,16	1,61	1,37	1,27	1,08	0,95	0,79	1,29	5,65	2,22	1,13	3,04	1,45	1,98	1,02	0,86	1,47	2,61	0,14	0,16	1,64	1,12	0,97
Ilmenit viel Mn kein Fe	0,09	0,04	0,05	0,03	0,10	0,62	0,12	0,28	0,01	0,03	0,04	0,29	0,17	0,05	0,04	0,19	0,01	0,08	0,06	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,12	0,04	0,00
Granat	10,26	1,65	20,02	9,36	12,90	2,20	19,47	2,34	2,08	8,86	2,37	5,74	17,70	11,50	0,87	12,89	2,74	0,54	1,85	2,92	4,20	0,36	0,26	0,14	7,97	2,99	0,26
Zirkon	2,12	1,52	0,77	2,14	5,25	1,54	1,15	3,51	2,02	3,22	3,57	2,53	2,68	1,47	1,68	1,43	1,03	1,89	2,25	9,45	9,22	10,23	7,86	5,99	2,20	6,97	8,03
Apatit	3,28	4,25	4,59	2,85	6,06	3,39	5,09	9,25	7,38	9,20	4,34	3,32	5,08	6,81	7,11	5,97	3,03	3,94	4,19	6,67	17,80	58,83	61,57	68,66	5,28	9,55	63,02
Monazit	1,39	0,84	0,45	1,34	1,39	1,23	0,65	2,58	1,25	1,88	2,35	1,40	1,88	1,31	0,94	1,03	0,74	1,49	1,10	4,73	4,27	4,98	5,48	2,16	1,34	3,37	4,21
Xenotim	1,72	2,89	1,46	1,53	0,45	0,56	1,07	1,76	1,34	1,92	3,29	1,31	1,12	1,28	2,74	2,13	2,55	3,84	0,37	0,46	1,16	1,36	1,72	0,06	1,83	0,66	1,04
Biotit	0,66	0,67	1,13	0,53	0,98	1,45	1,13	1,61	0,88	0,81	0,58	0,81	1,24	1,43	1,04	1,12	1,07	0,71	0,73	0,59	1,17	5,16	2,09	8,62	0,99	0,83	5,29
Quarz	2,14	1,40	1,31	0,96	0,87	2,20	1,06	0,82	1,57	1,10	1,01	1,01	1,15	1,02	1,23	1,55	1,43	1,33	1,33	0,63	2,09	0,59	0,39	0,65	1,29	1,35	0,54
Amphibol-Pyroxene	1,75	0,04	3,51	2,15	24,89	1,49	0,51	0,02	0,03	0,02	0,00	0,02	0,03	0,04	0,02	0,10	0,11	0,00	0,18	0,01	0,33	0,01	0,04	0,01	1,93	0,17	0,02
Titanit	0,73	0,20	4,23	1,64	6,60	1,52	0,66	1,23	0,59	0,33	0,20	0,13	0,08	0,24	0,27	0,45	0,29	0,21	0,12	0,11	0,50	0,00	0,01	0,01	1,09	0,25	0,01
Rutil-TiO2	0,31	0,17	0,48	0,28	0,16	0,29	0,35	0,44	0,13	0,42	0,23	0,49	0,94	0,42	0,23	0,41	0,14	0,14	0,23	0,18	0,34	1,33	0,02	0,03	0,34	0,26	0,46
Feldspat	1,76	0,45	0,94	0,52	1,19	2,92	0,73	0,65	0,75	0,37	0,30	0,31	0,51	0,35	0,48	0,60	0,51	0,43	1,22	0,46	2,30	0,96	0,52	1,10	0,77	1,33	0,86
Muskovit	0,68	0,68	0,90	0,26	0,42	0,49	0,62	0,89	0,79	1,02	0,81	0,75	0,52	0,59	1,17	0,97	0,82	0,48	0,14	0,09	0,18	0,76	0,43	0,17	0,71	0,14	0,45
Fe-Mn-Oxide	0,48	0,07	0,80	0,25	6,05	1,09	0,42	0,16	0,29	0,19	0,04	0,04	0,16	0,23	0,12	0,32	0,14	0,03	0,63	0,13	0,50	0,85	0,90	0,64	0,60	0,42	0,79
Epidot	0,29	0,13	2,38	0,96	3,99	1,57	0,21	0,65	0,36	0,27	0,05	0,68	0,12	0,07	0,04	0,29	0,05	0,02	0,10	0,25	0,43	0,02	0,02	0,02	0,64	0,26	0,02
Al-Silikate	0,08	0,01	0,18	0,01	0,07	0,03	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01	0,01	0,52	0,15	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,08	0,11	0,07	0,02	0,07
Turmalin	0,01	0,04	0,04	0,03	0,06	0,03	0,07	0,03	0,06	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06	0,05	0,02	0,03	0,11	0,10	0,20	0,04	0,03	0,14
Sulfide	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
W-Minerale	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01
Korund	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Kassiterit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Spinel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Karbonat-Sulfate	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	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Topaz	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	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Artefakte	0,00	0,00	0,06	0,00	0,09	0,00	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,02	0,00	0,04	0,01	0,02	0,02
Fehler	0,01	0,01	0,04	0,01	0,04	0,06	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,07	0,06	0,05	0,08	0,02	0,04	0,07
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

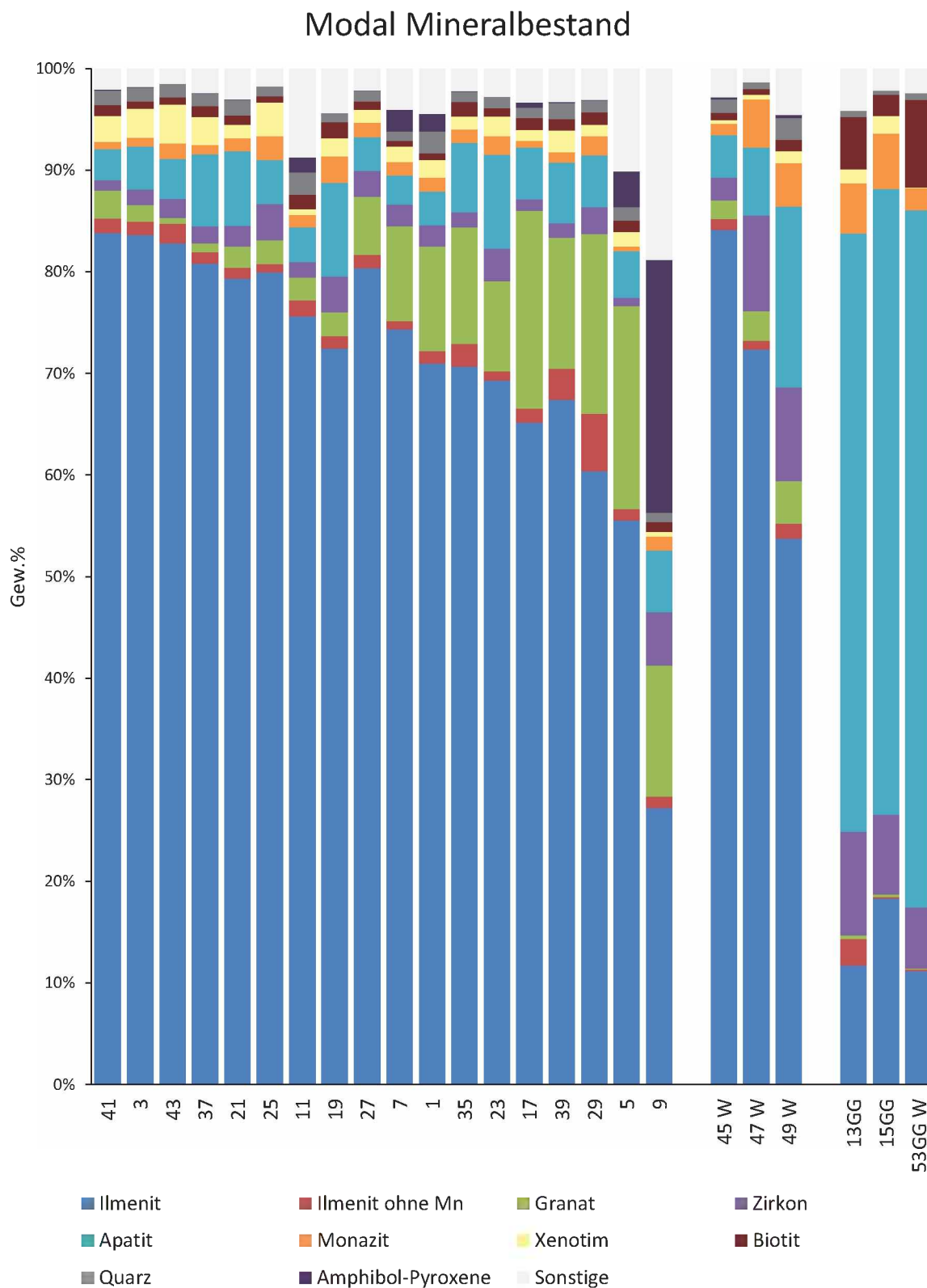
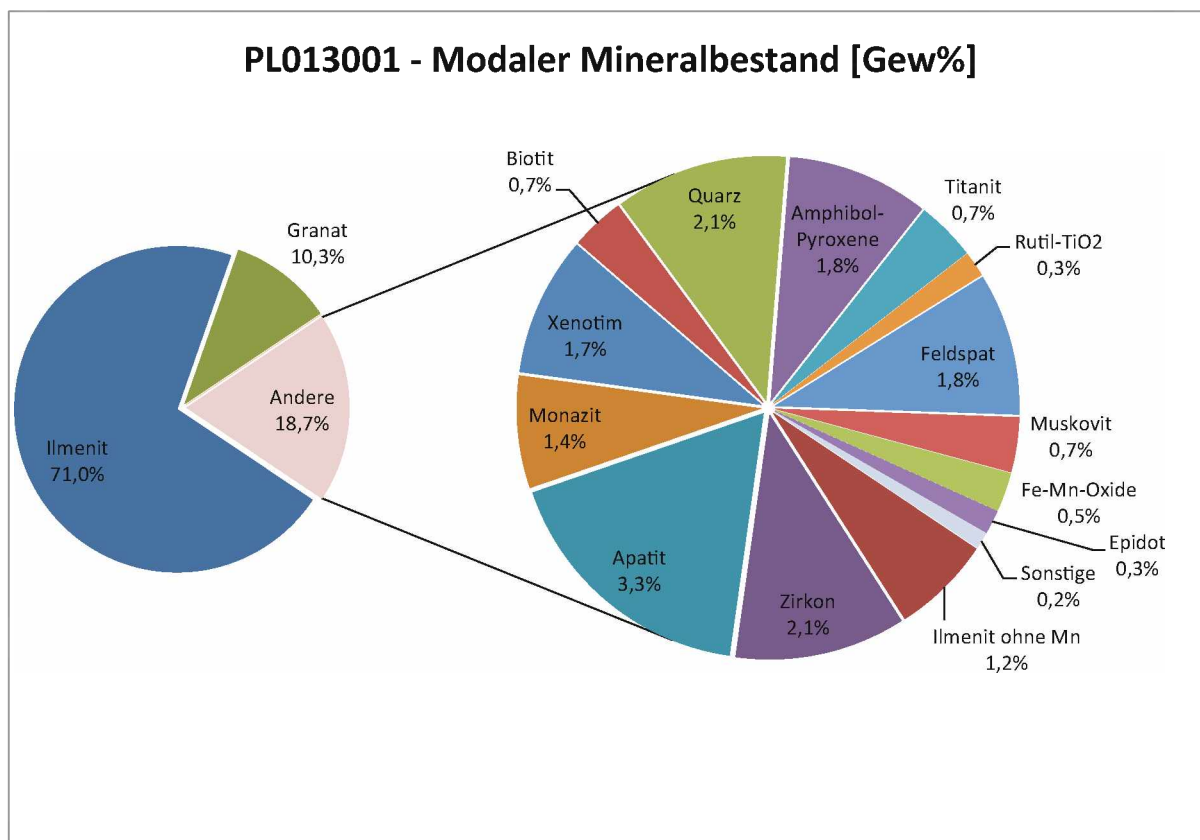
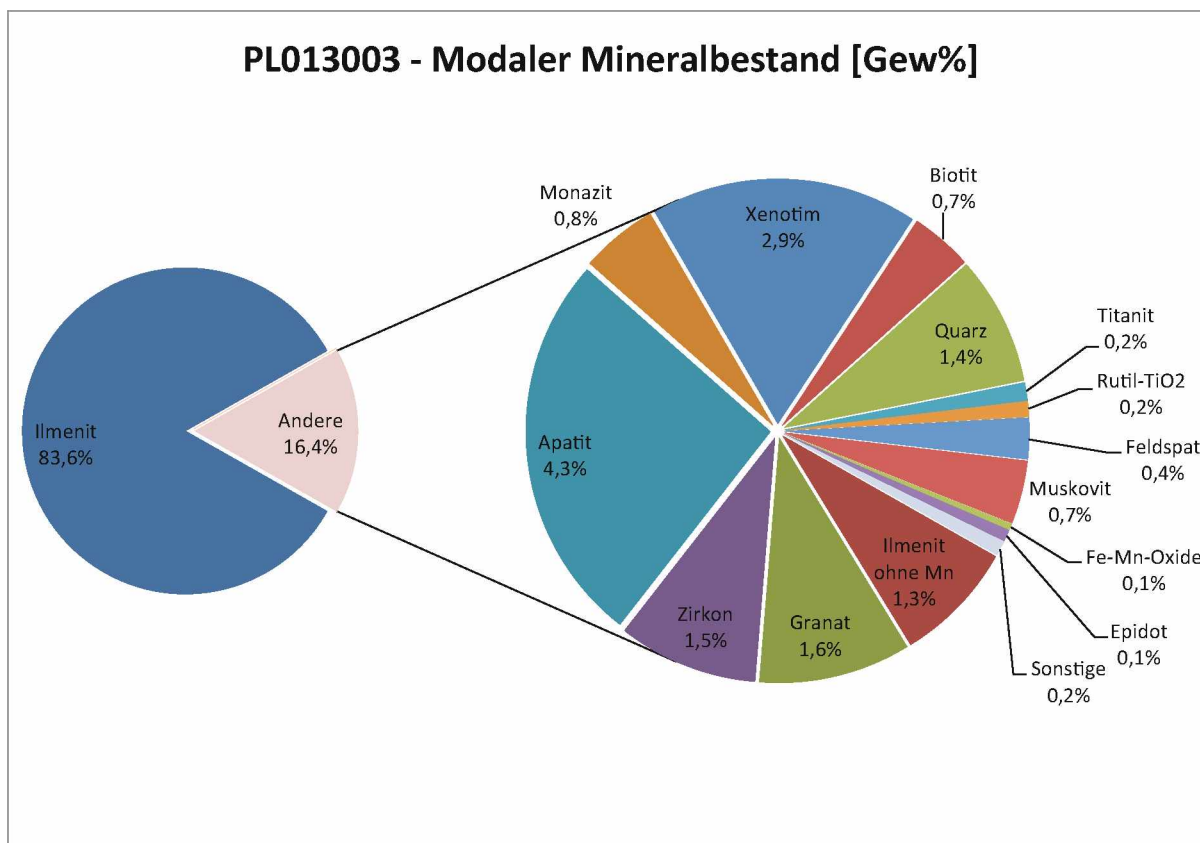


Abb. 22: Modaler Mineralbestand aller SM- und GG-Proben im Vergleich (die Probennummern sind ohne dem Präfix PL013xxx dargestellt, Suffix: W=Weitra, GG=Granitgrus)

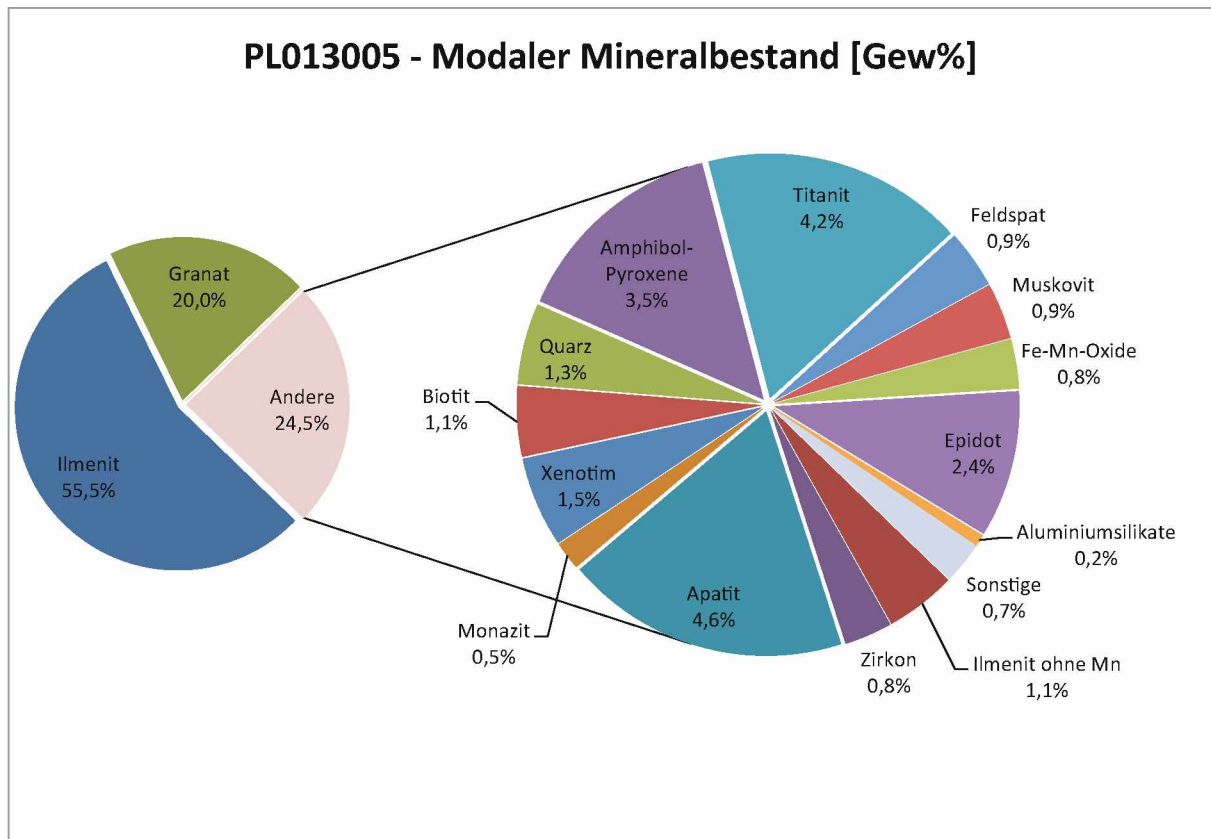
Abb. 23 a-x: Modaler Mineralbestand der einzelnen Proben (Abbildungen a-r: Sandl, s-u: Weitra, v-x: GG)



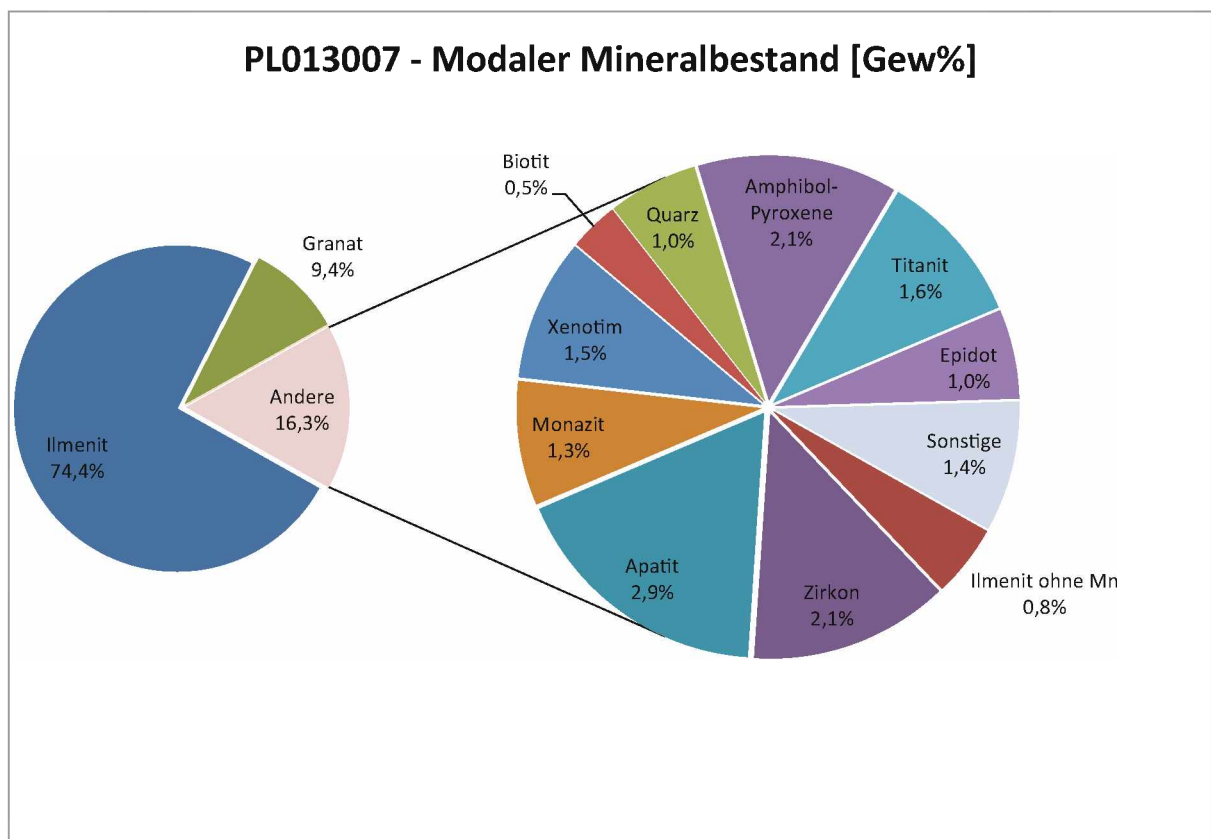
a.) SM Probe, Sandl



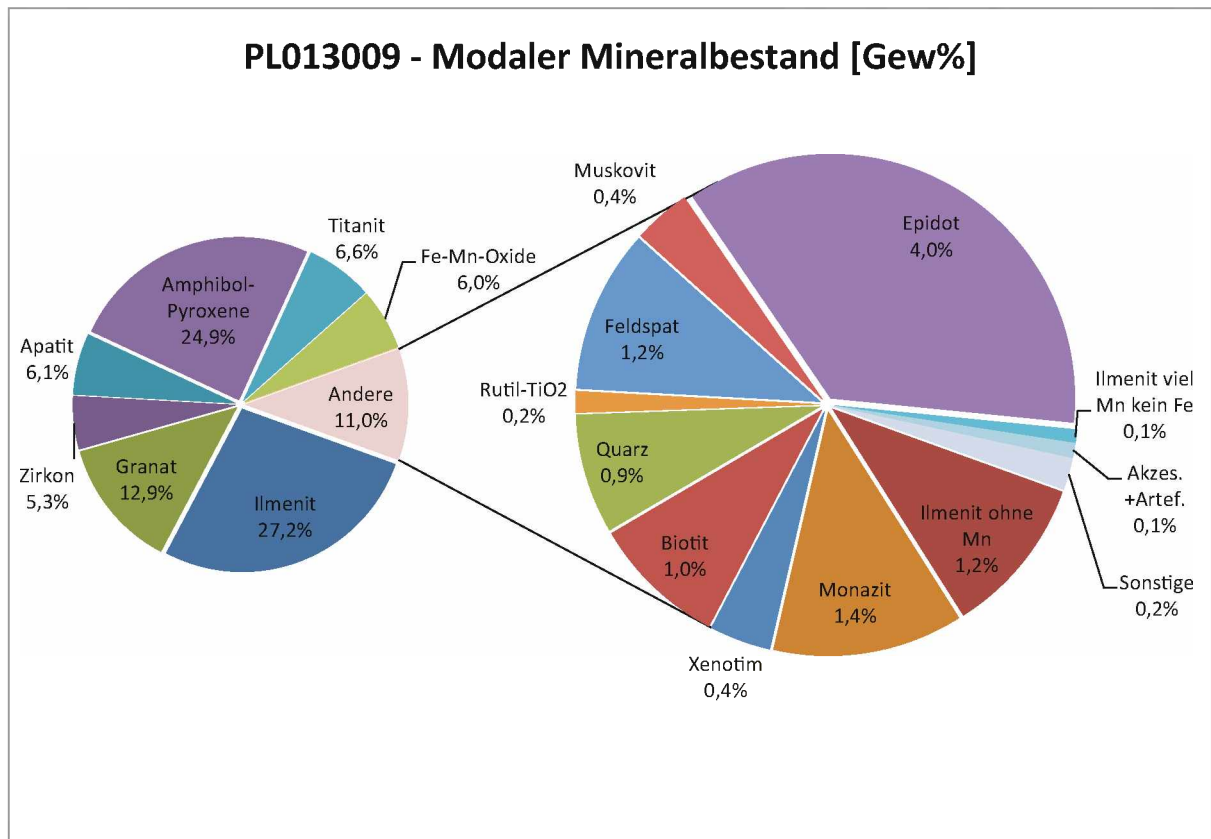
b.) SM Probe, Sandl



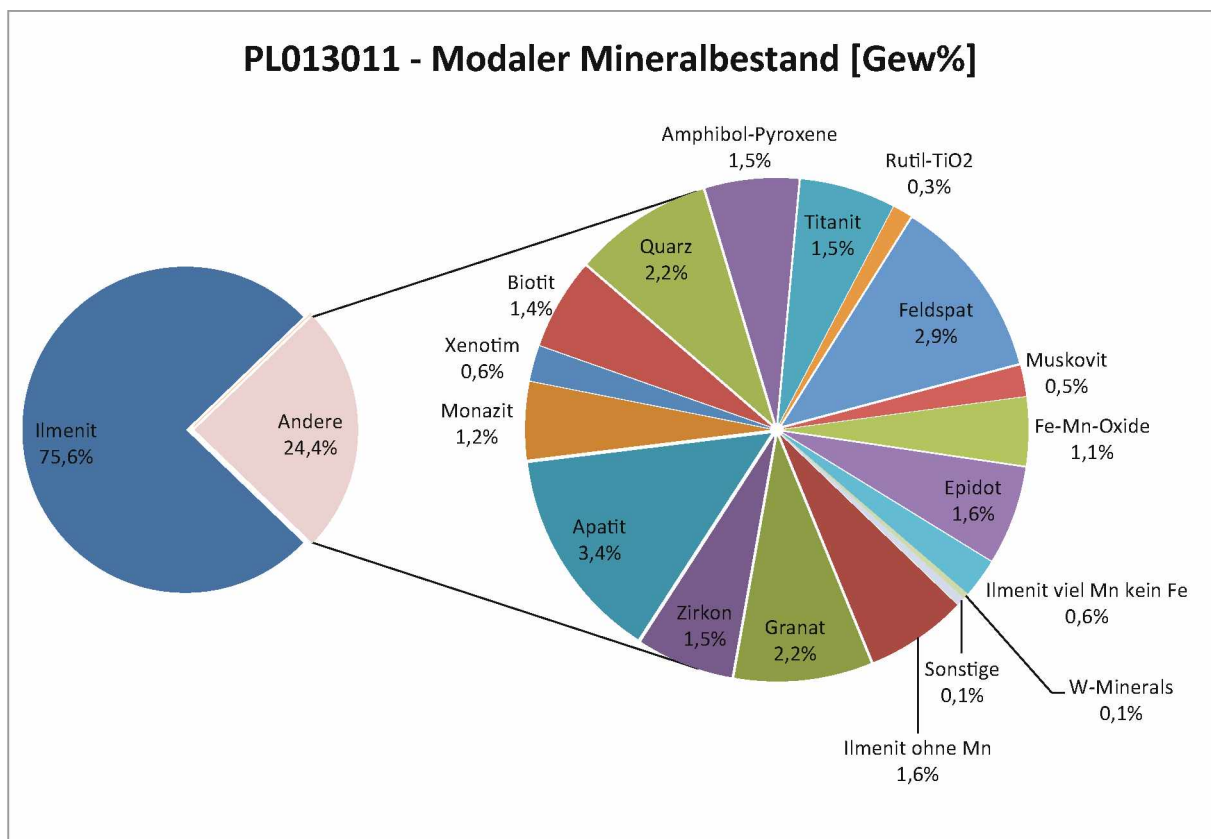
c.) SM Probe, Sandl



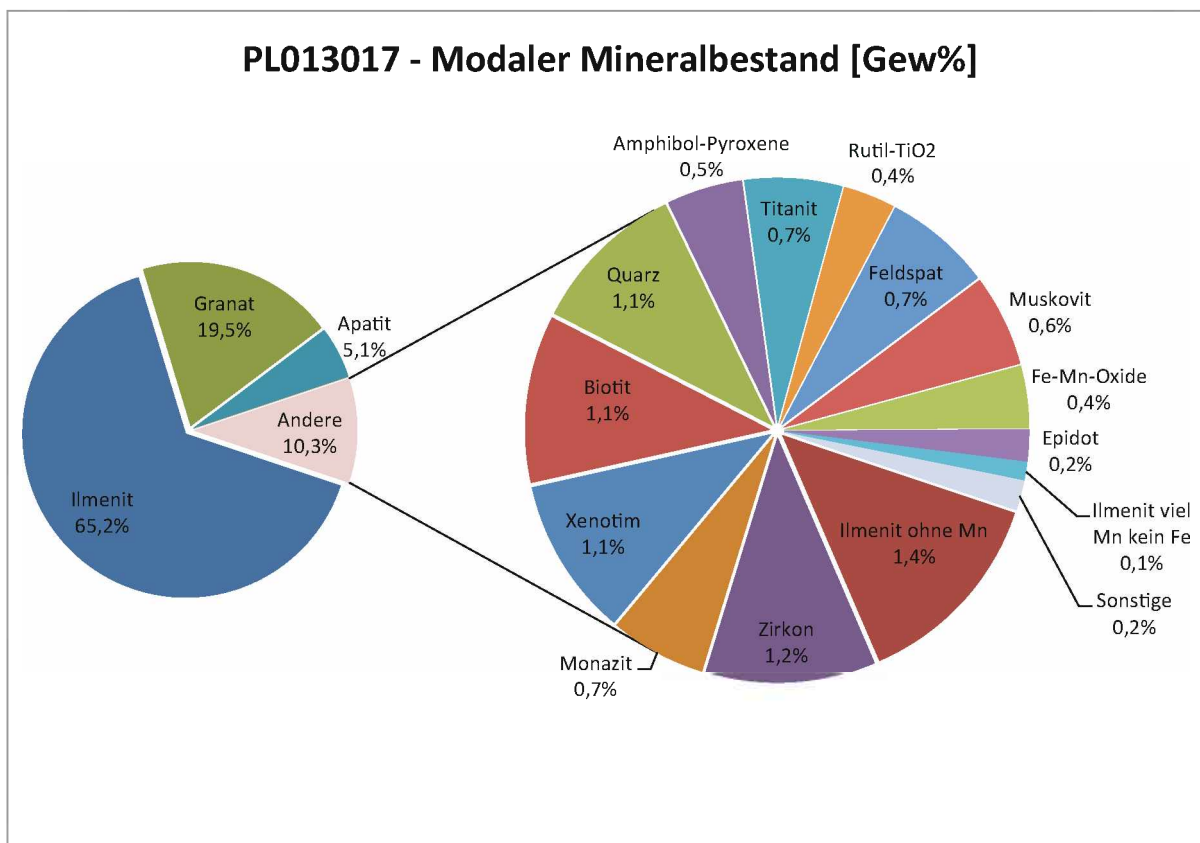
d.) SM Probe, Sandl



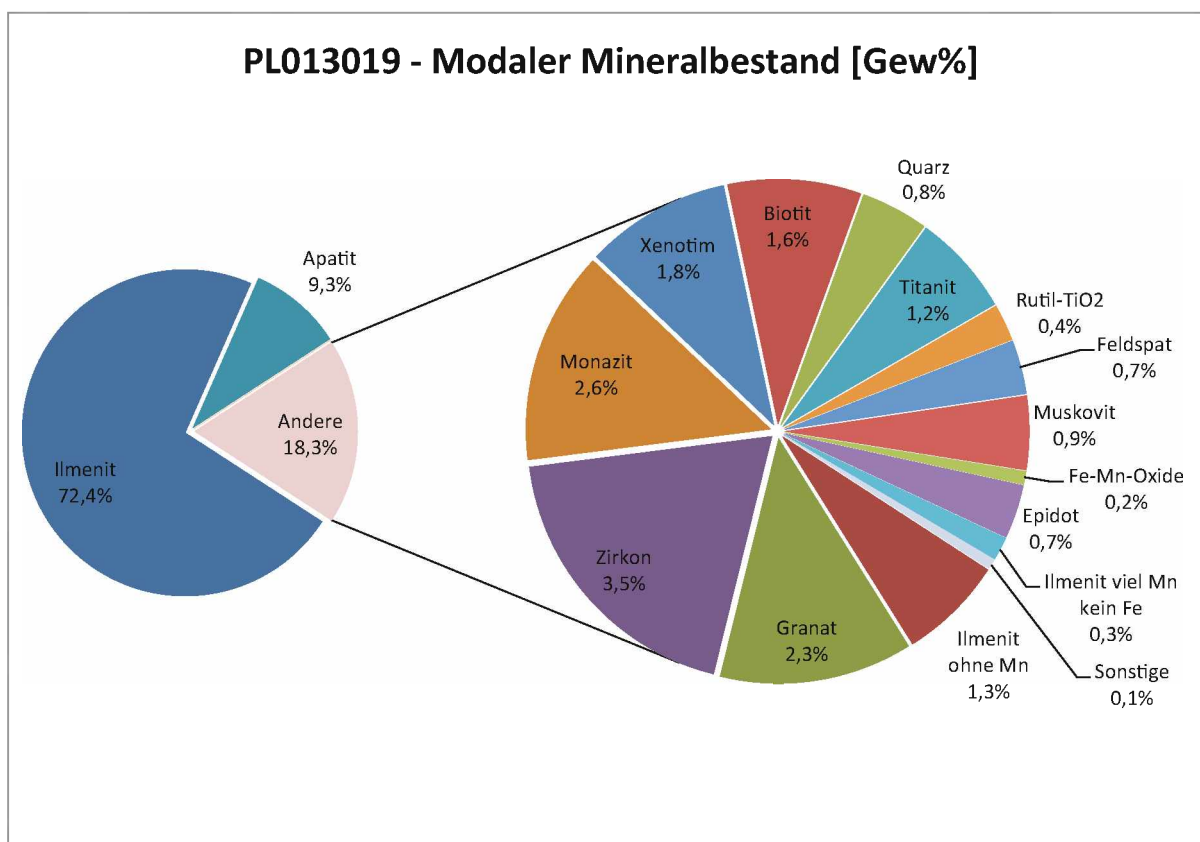
e.) SM Probe, Sandl



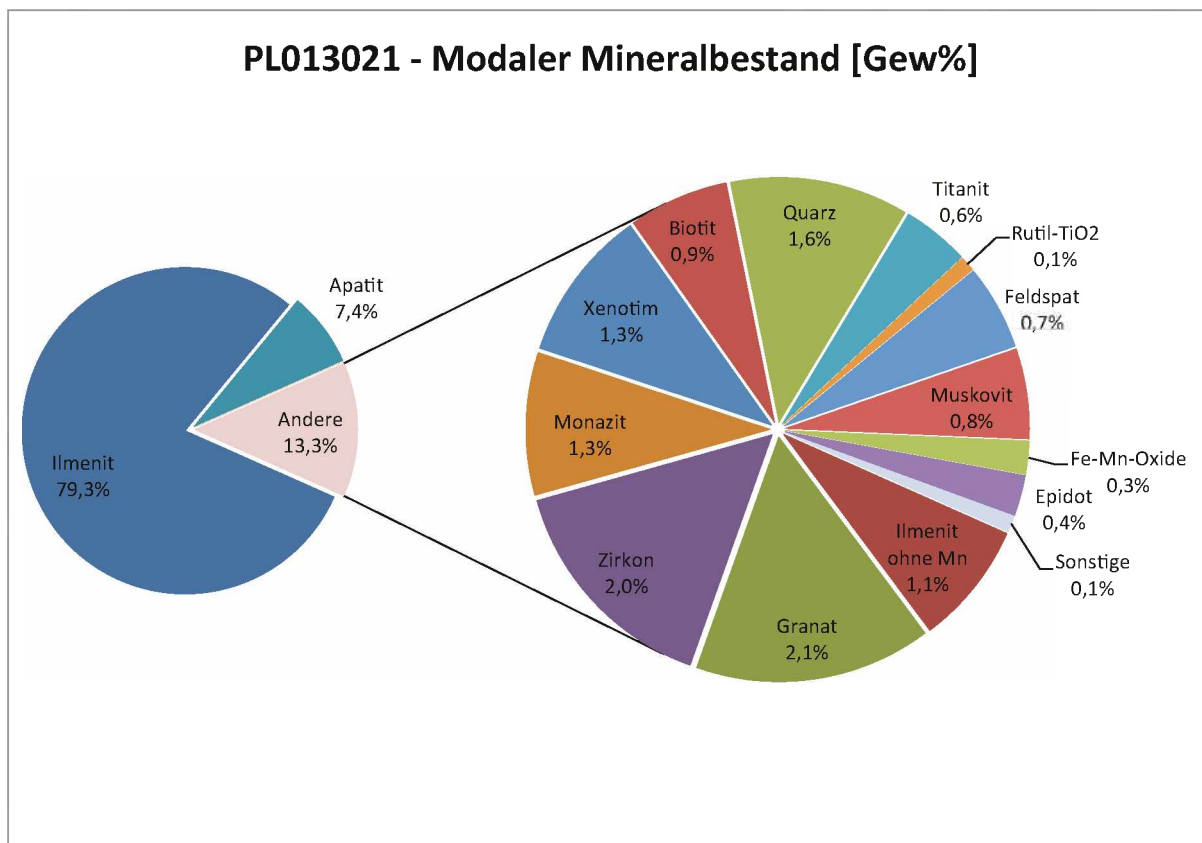
f.) SM Probe, Sandl



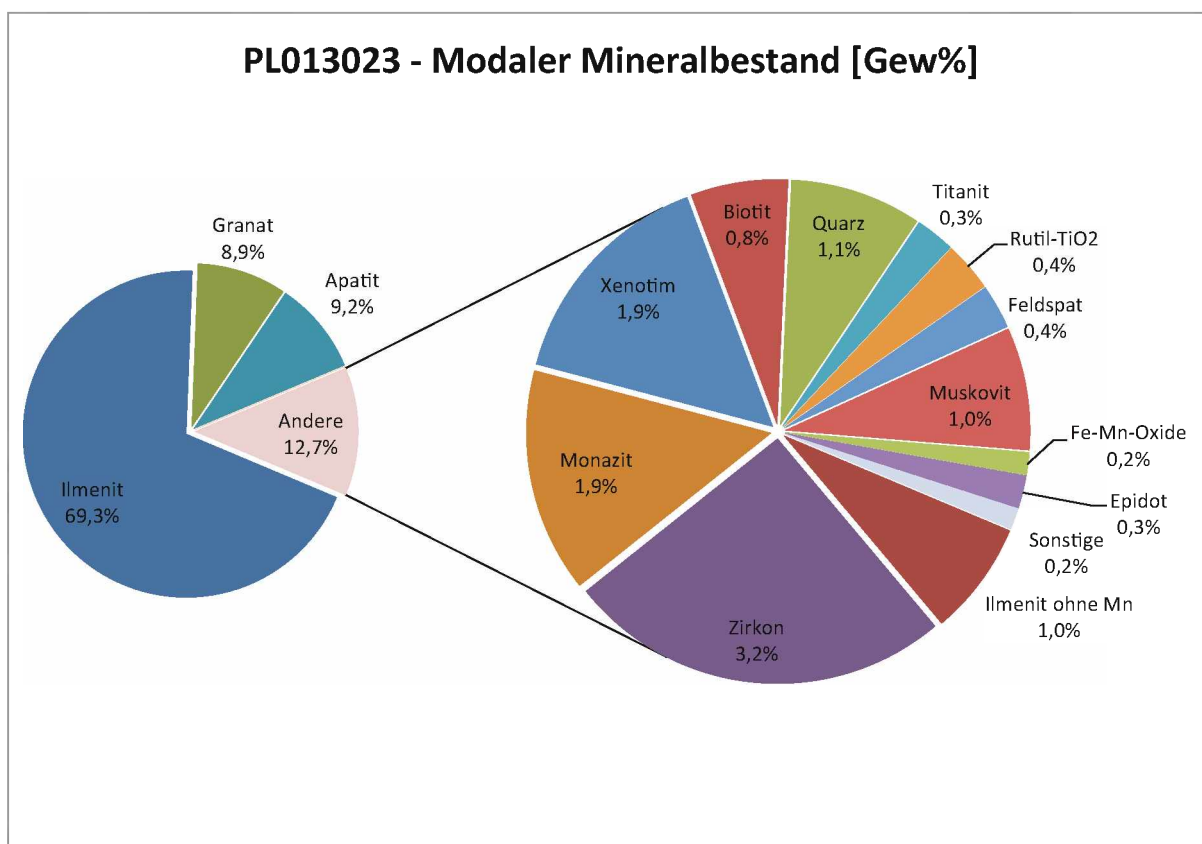
g.) SM Probe, Sandl



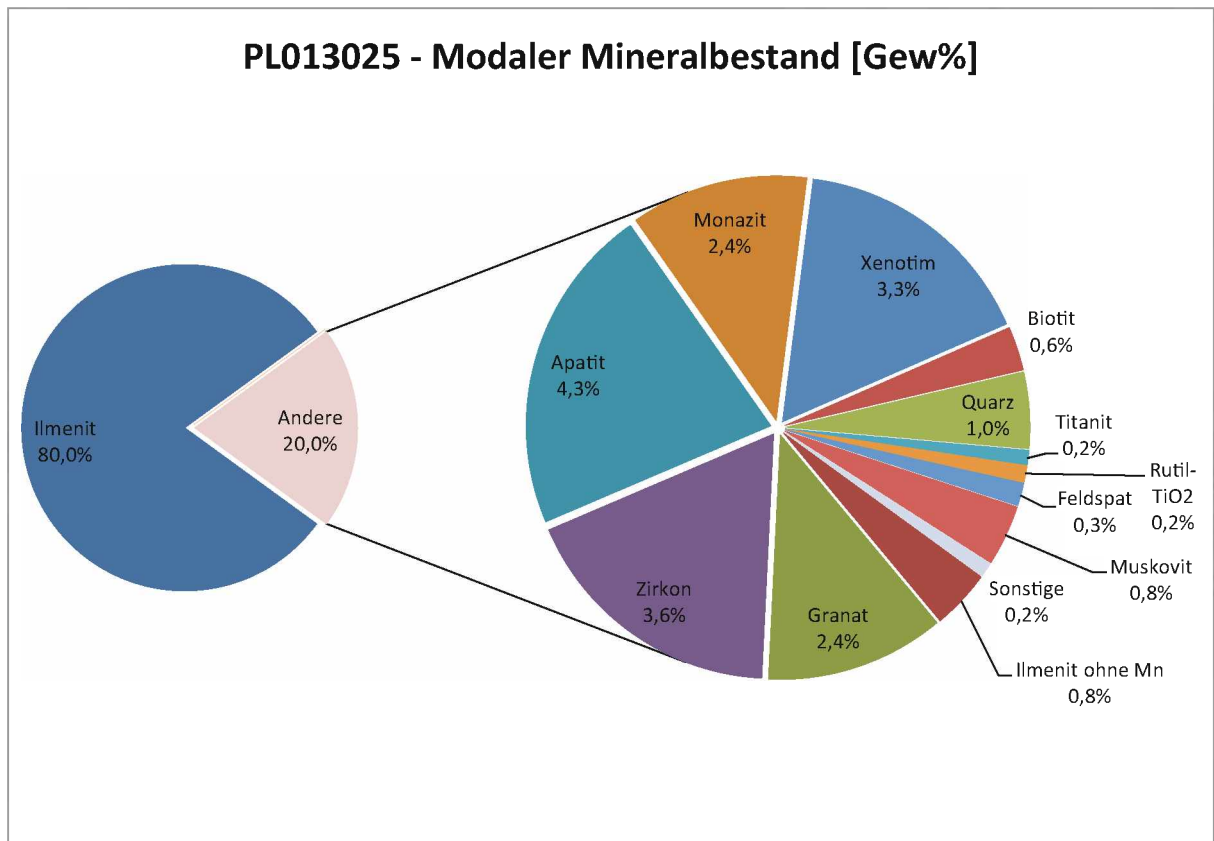
h.) SM Probe, Sandl



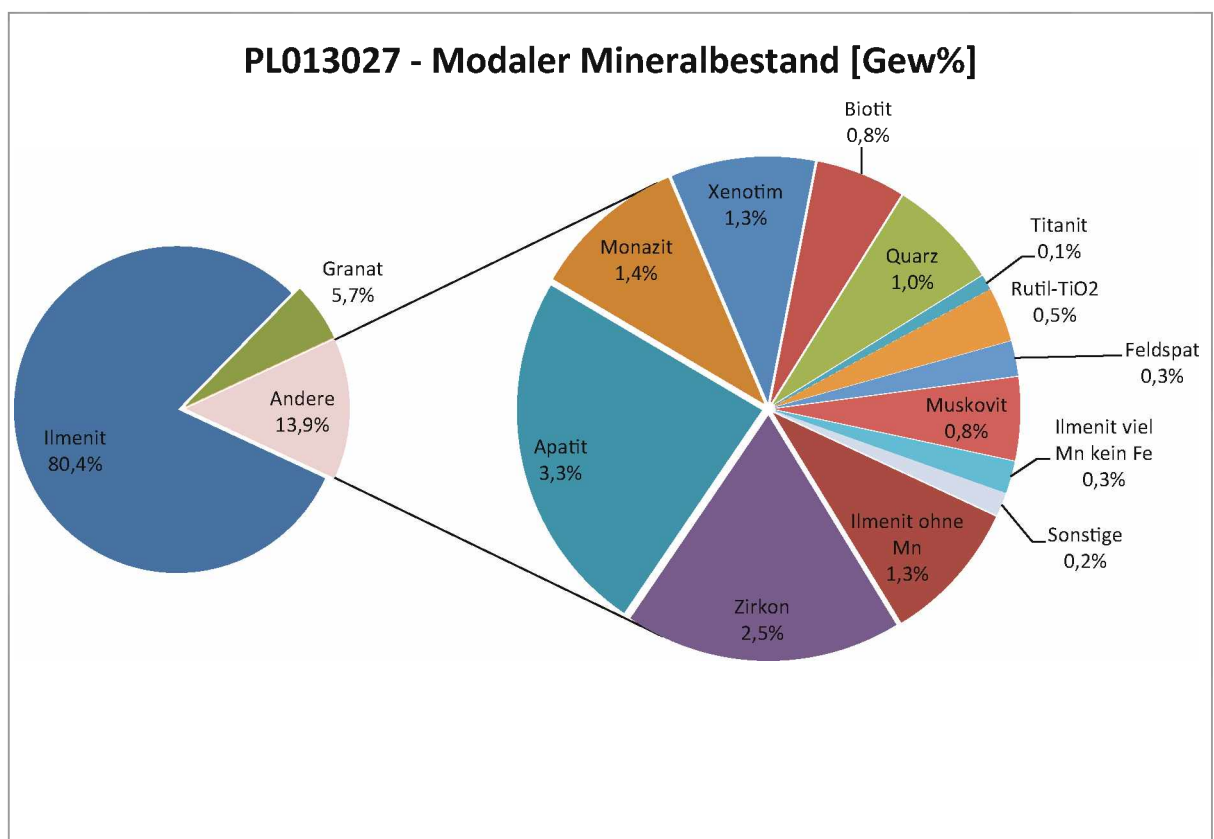
i.) SM Probe, Sandl



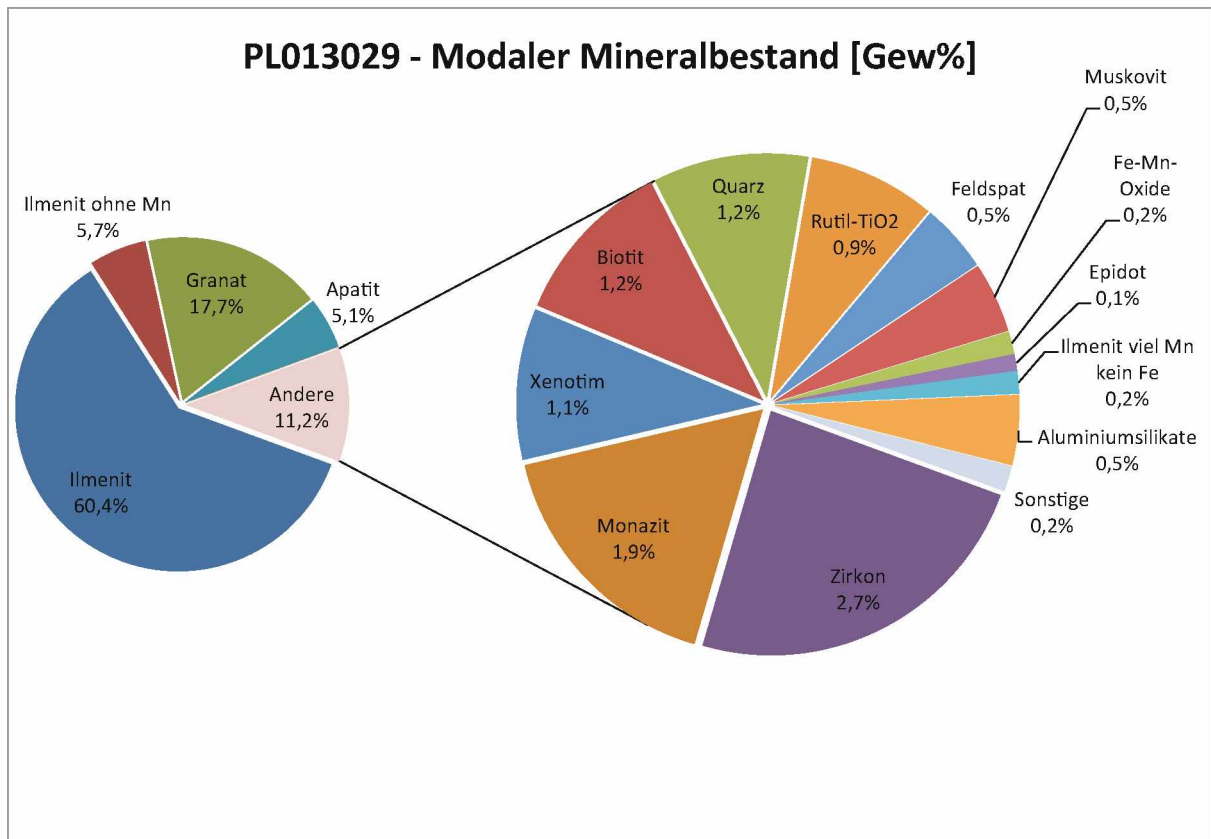
j.) SM Probe, Sandl



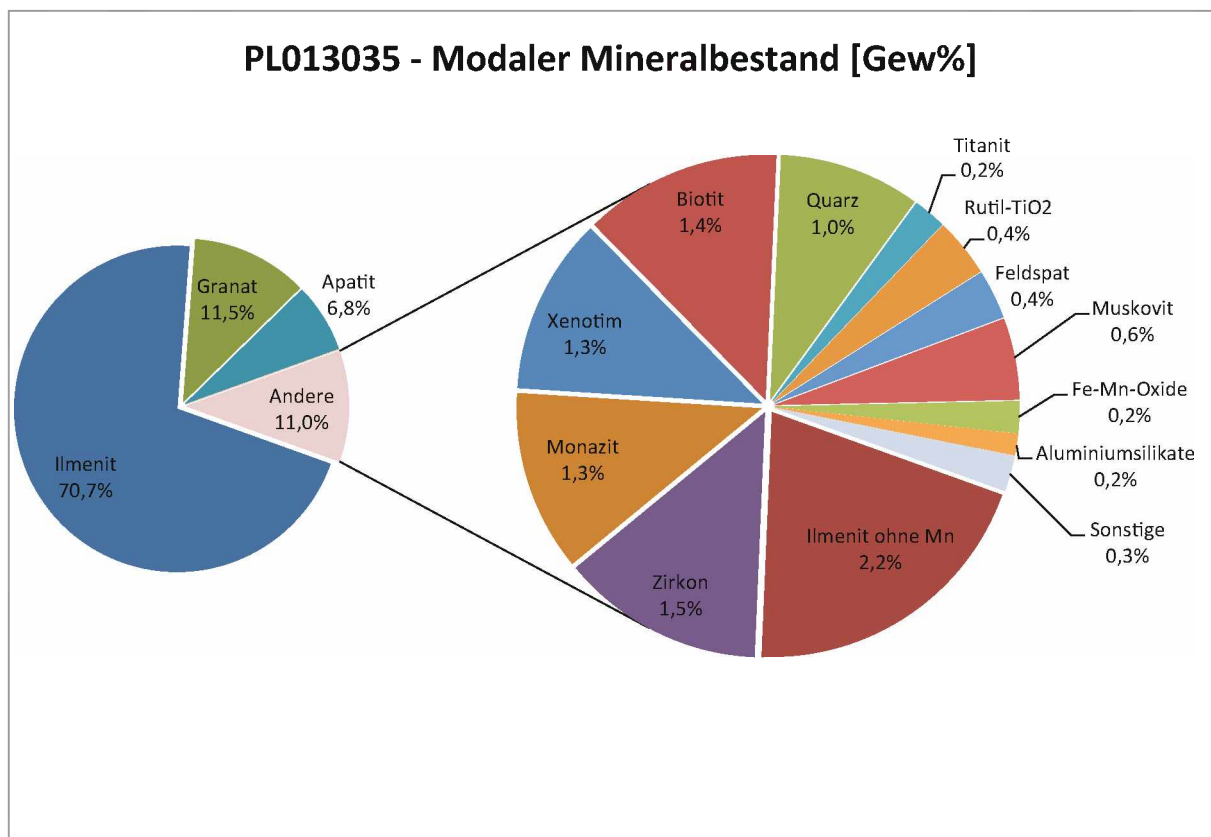
k.) SM Probe, Sandl



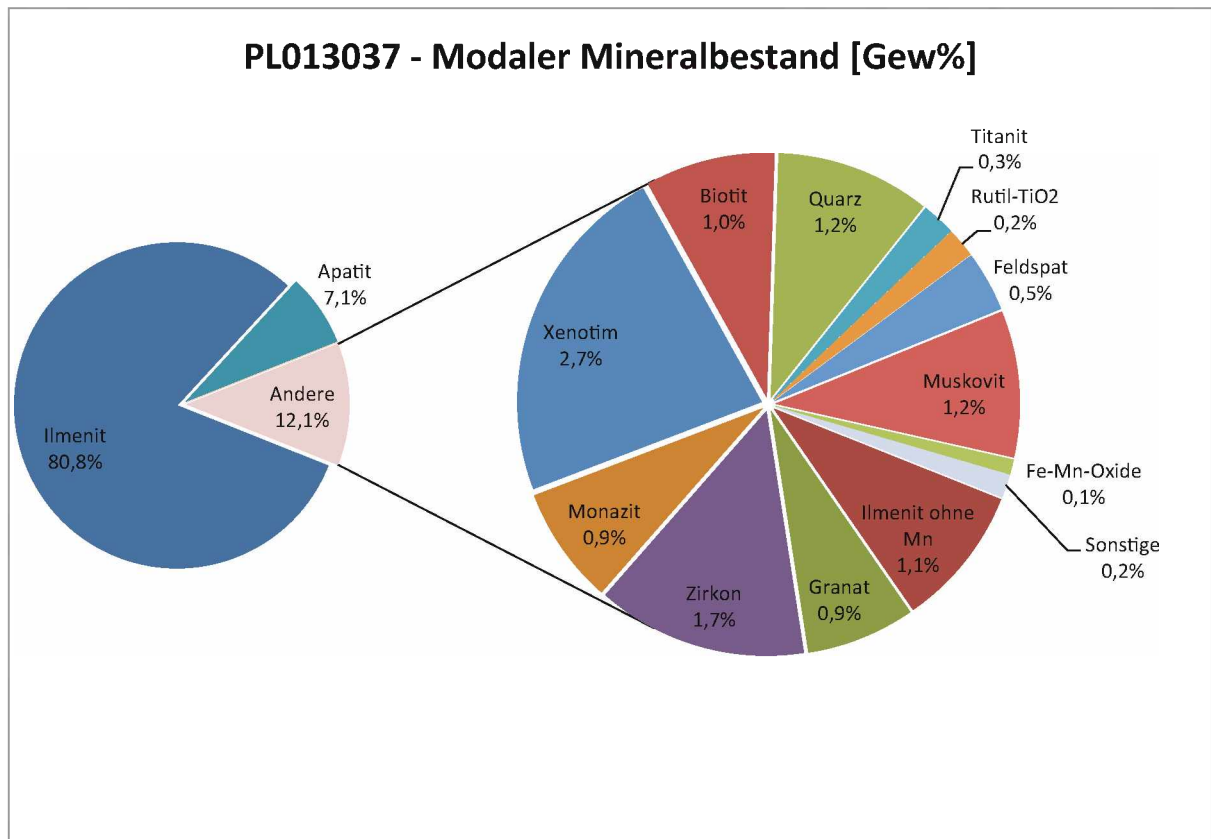
l.) SM Probe, Sandl



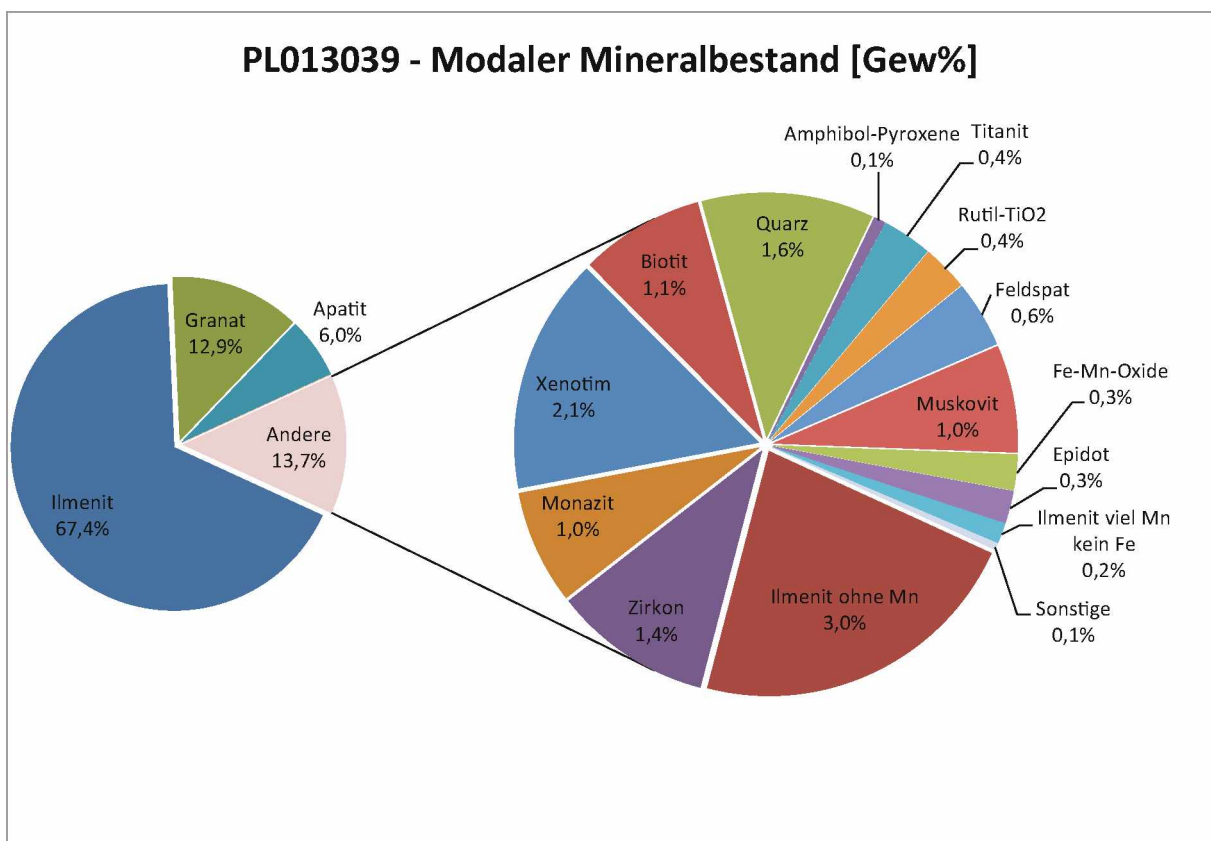
m.) SM Probe, Sandl



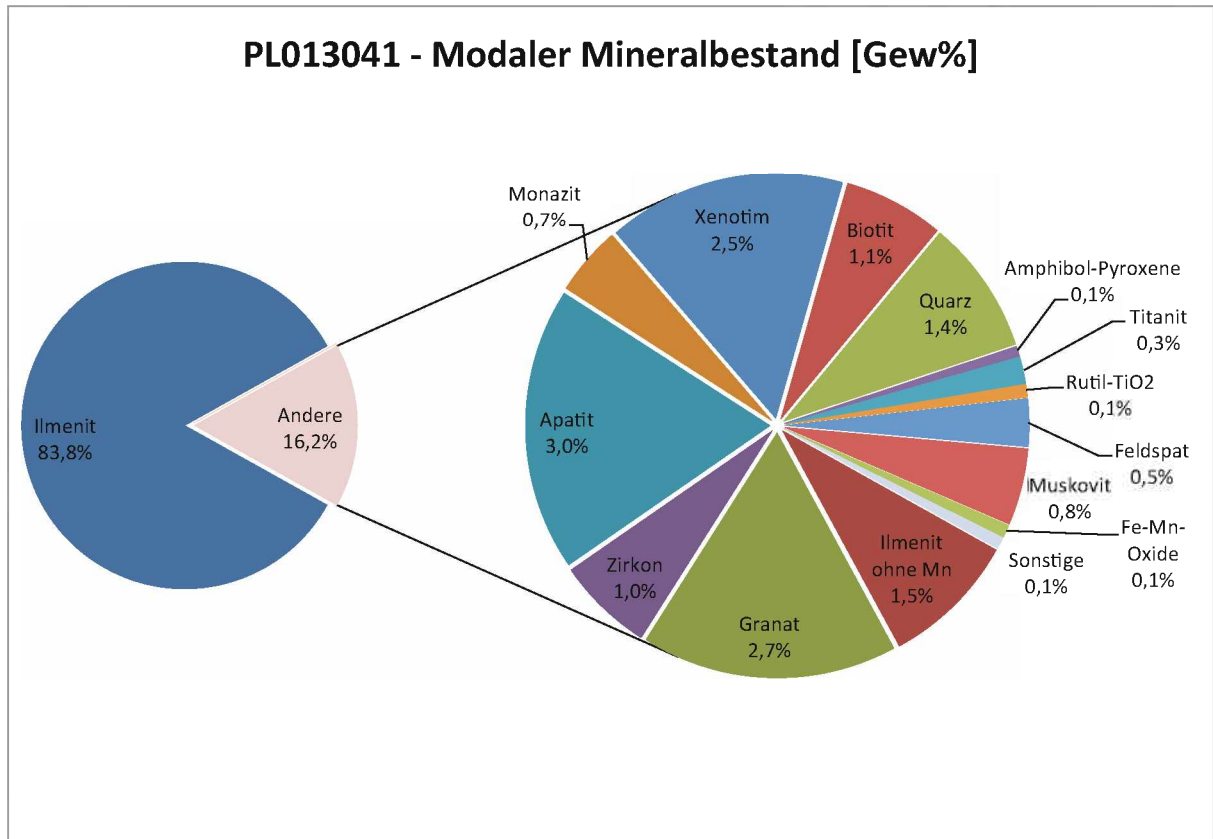
n.) SM Probe, Sandl



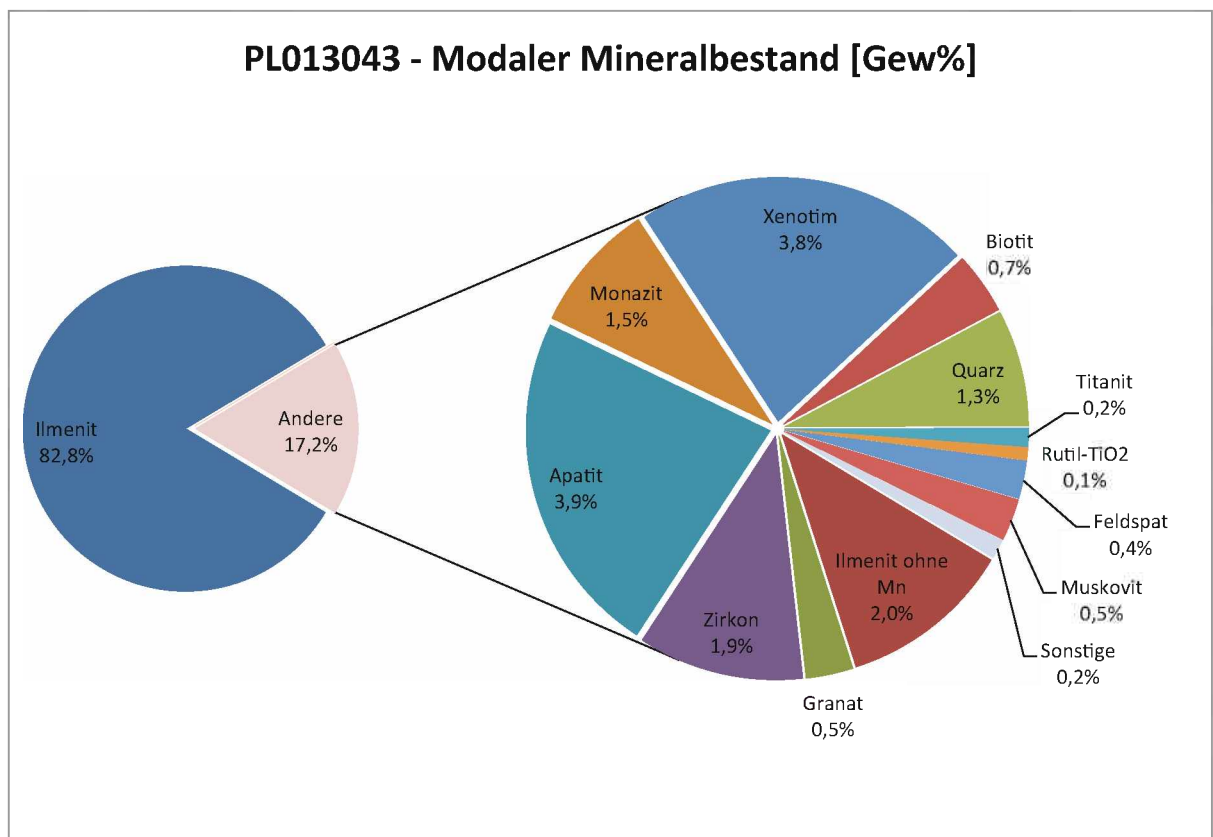
o.) SM Probe, Sandl



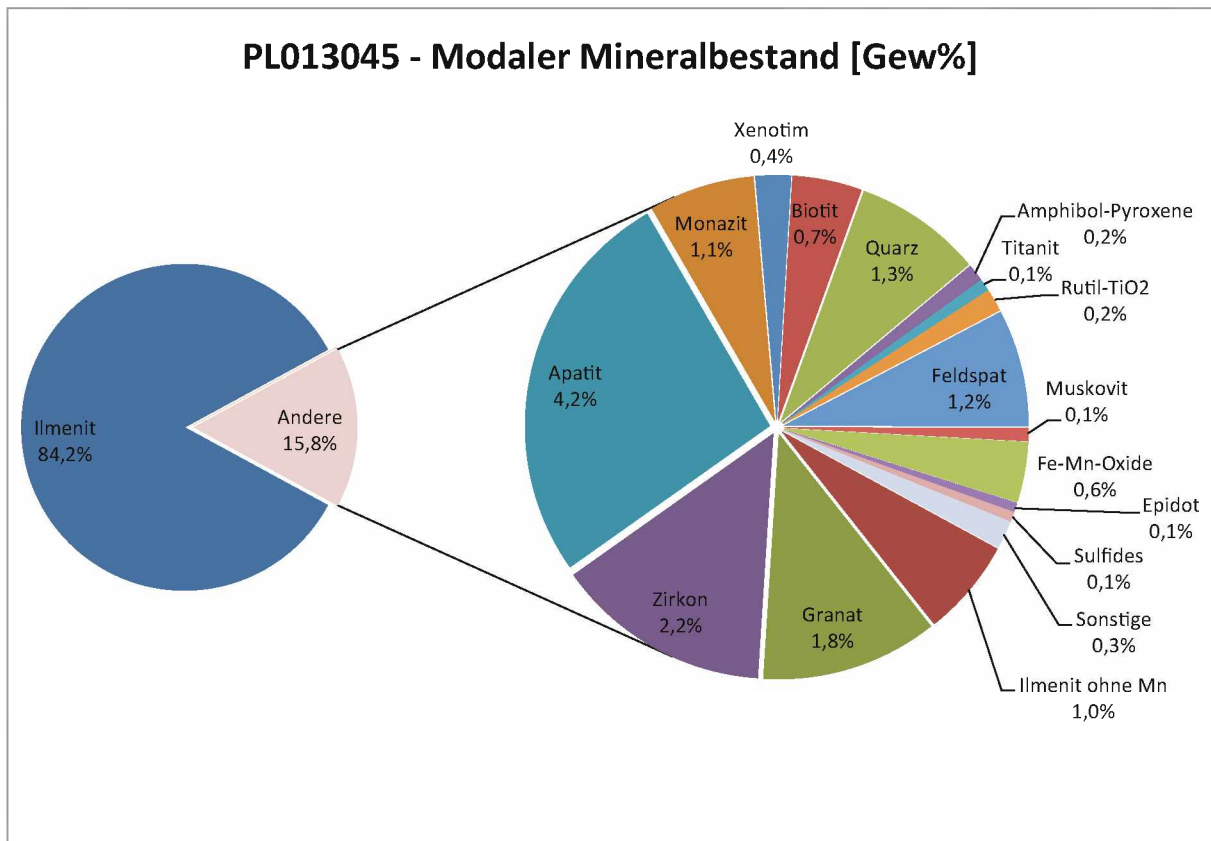
p.) SM Probe, Sandl



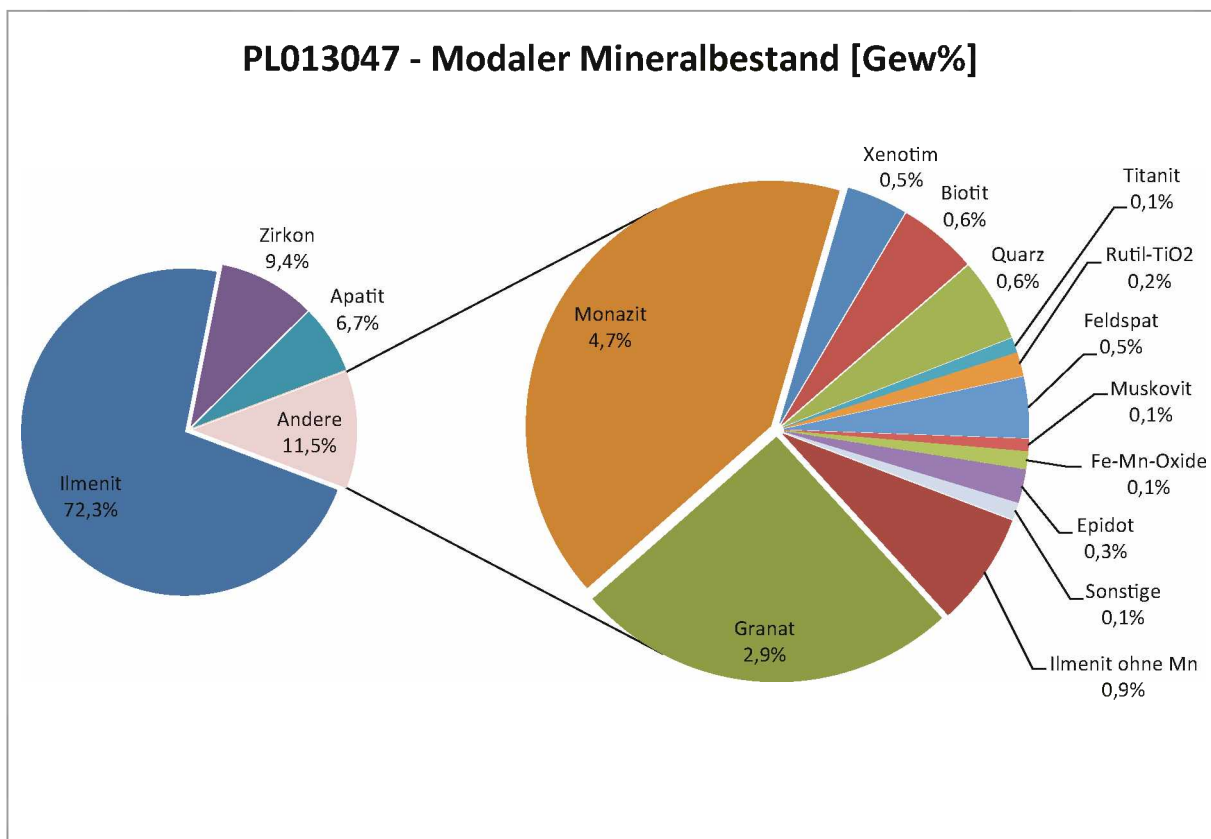
q.) SM Probe, Sandl



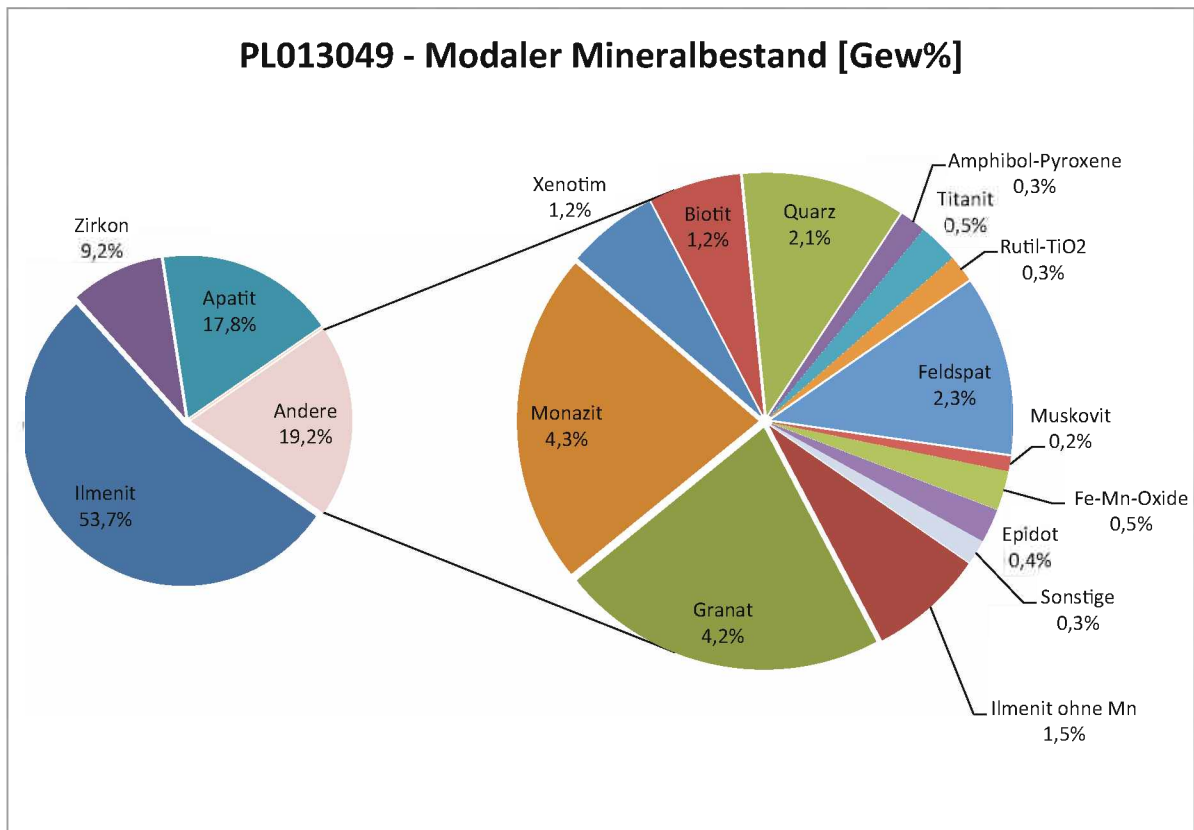
r.) SM Probe, Sandl



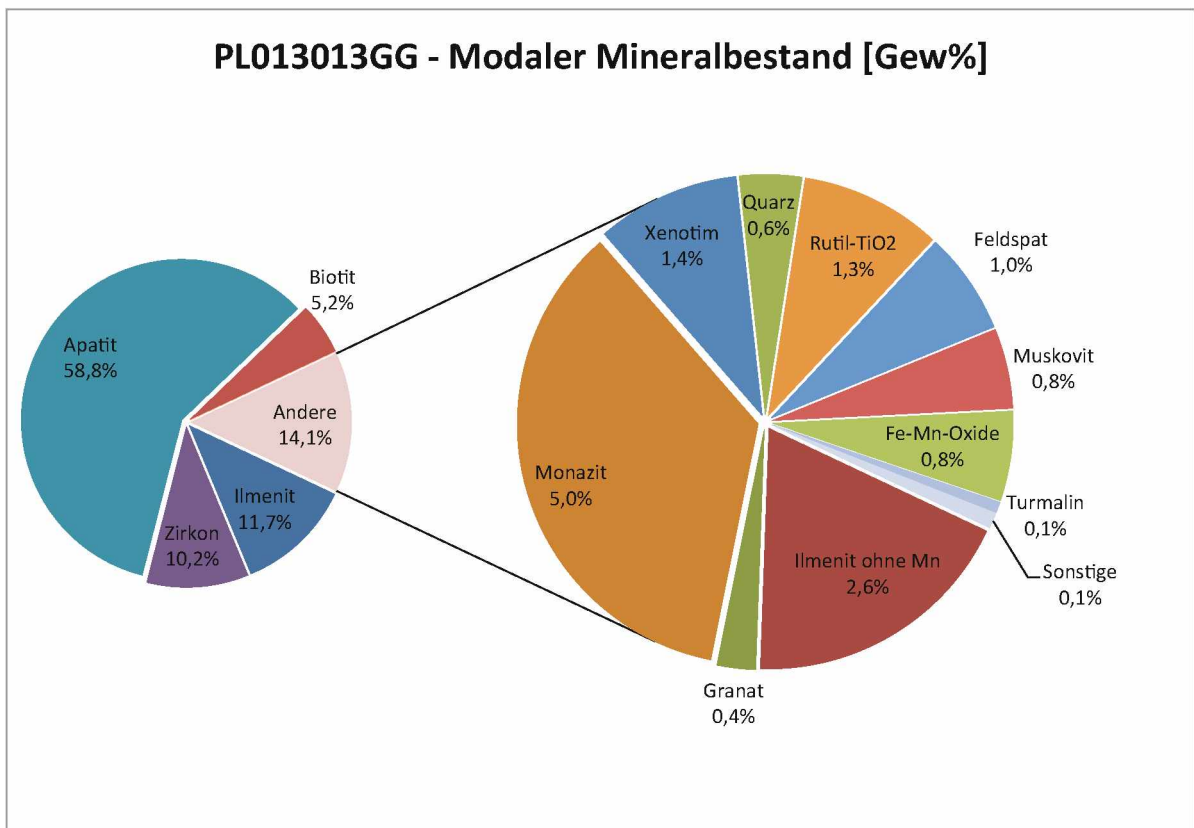
s.) SM Probe, Weitra



t.) SM Probe, Weitra

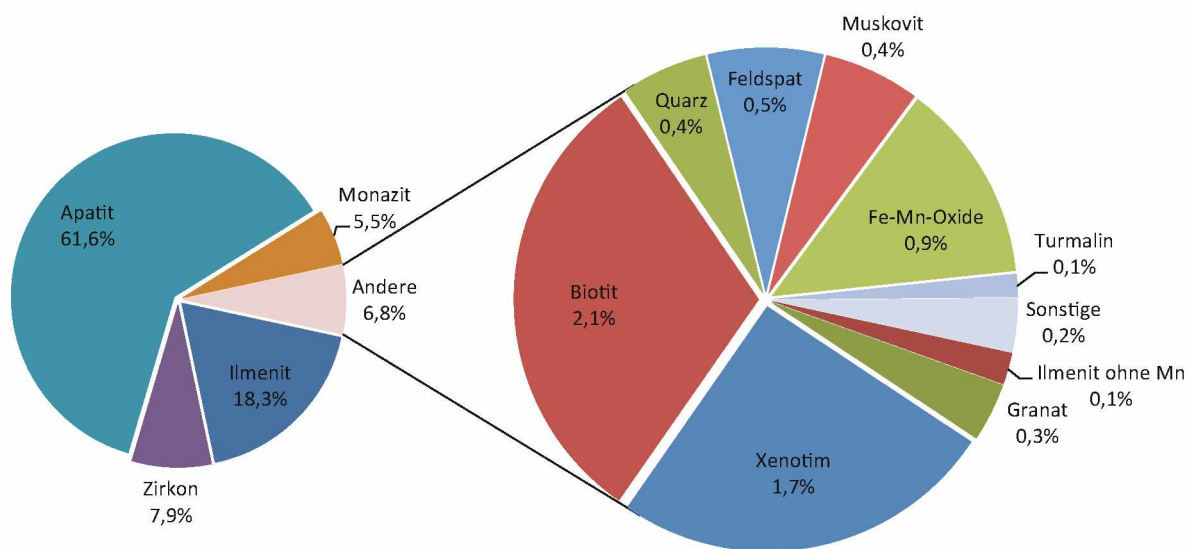


u.) SM Probe, Weitra



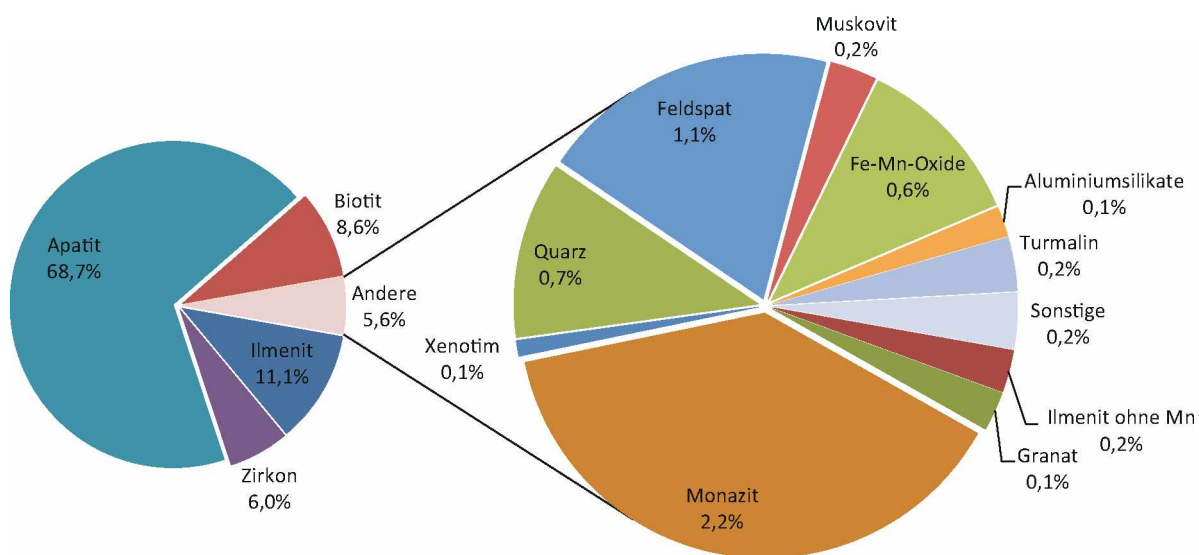
v.) GG Probe, Sandl

PL013015GG - Modaler Mineralbestand [Gew%]



v.) GG Probe, Sandl

PL013053GG - Modaler Mineralbestand [Gew%]



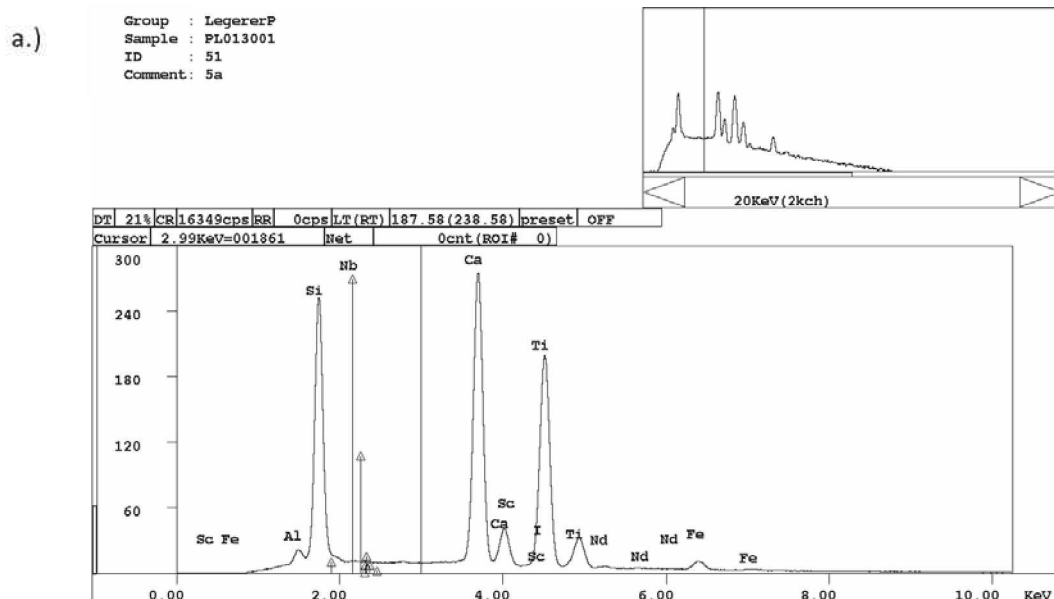
x.) GG Probe, Weitra

4.3 Elektronenstrahlmikrosonden-Analytik (EMS)

4.3.1 Nachweis von Niob und Tantal

Alle Schwermineralproben wurden nach einer eingehenden mikroskopischen Untersuchung mittels der Elektronenstrahlmikrosonde analysiert. Hauptziel der Untersuchung war eine Verifizierung der erhöhten Niob- und Tantalgehalte in den Schwermineralkonzentraten. Da Rutil und Ilmenit diese Elemente bevorzugt in ihr Kristallgitter einbauen können, wurde das Hauptaugenmerk vorerst auf diese Titanminerale und auf möglicherweise mikroskopisch nicht erkannte Nb-Ta Phasen gelegt. Weitere Ziele waren einerseits die Bestätigung der mikroskopischen Bestimmungen, andererseits die Identifizierung möglicher eigenständiger Nb-Ta Minerale sowie eine Analyse der mineralchemischen Zusammensetzung der genannten Phasen.

Qualitative energiedispersive Untersuchungen (EDS) ergaben weder eigenständige Nb-Ta Mineralphasen noch sichtbare Nb- oder Ta-Peaks an den untersuchten Körnern. Abb. 24 a-c zeigt beispielhaft drei EDS-Spektren von Titanit, Ilmenit und Titanoxid TiO_2 . In keiner dieser Phasen sind Nb bzw. Ta qualitativ nachweisbar.



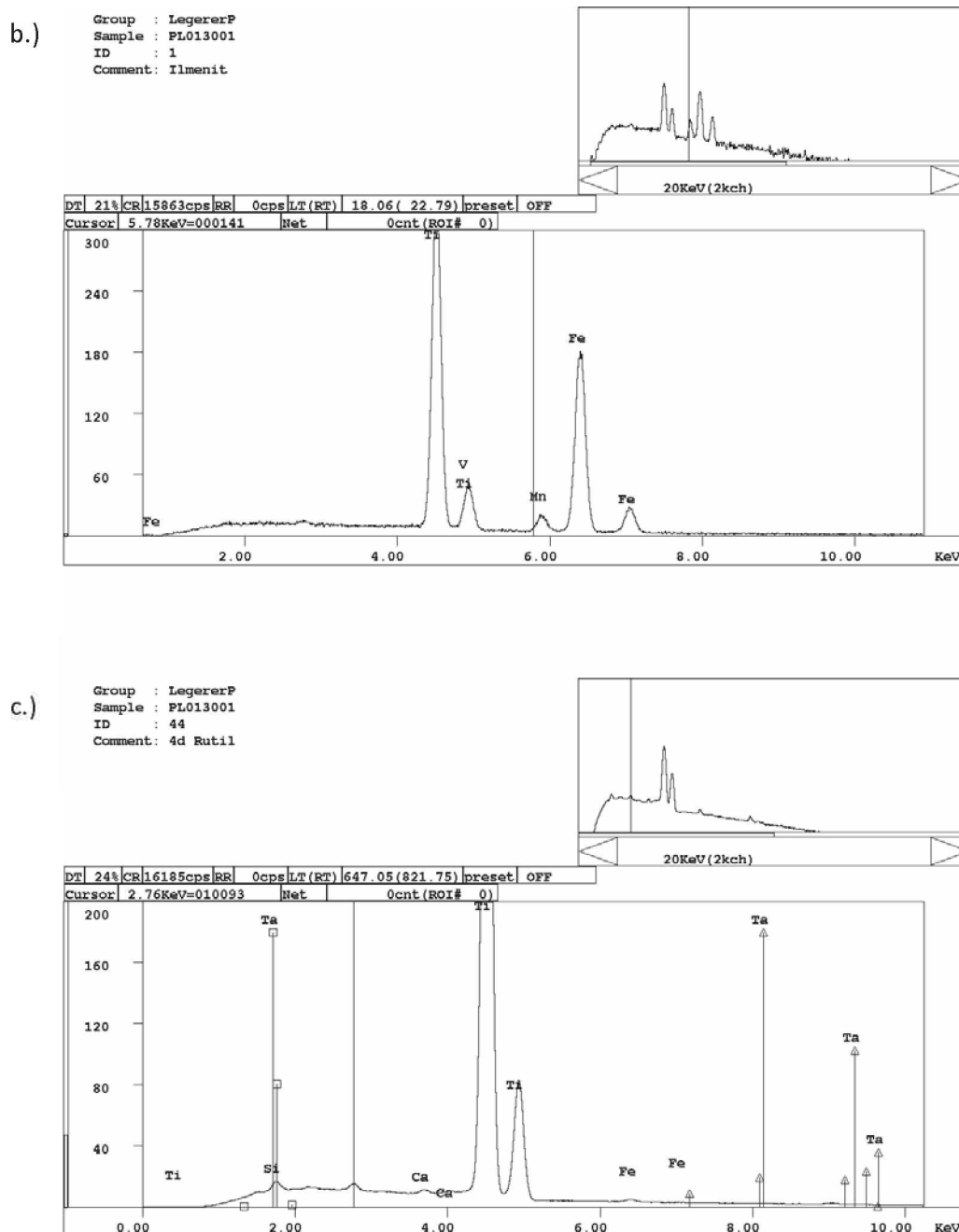


Abb. 24 a-c: EDS-Spektren von Titanit, Ilmenit und Titanoxid (TiO_2), Marker-Linien zeigen Position elementspezifischer L bzw. M-Linien von Nb bzw. Ta.

Auch Elementverteilungsbilder (Mapping), die mit unterschiedlichen Messparametern durchgeführt wurden, brachten keine positiven Ergebnisse hinsichtlich des Nachweises von Nb bzw. Ta. Der in Abb. 25 gezeigte Ausschnitt eines Mappings gibt keine Hinweise auf die gesuchten Elemente.

Schließlich konnten durch die wesentlich genaueren (niedrigere Nachweisgrenze) wellenlängendispersiven Messungen (WDS) Niob und Tantal in Ilmeniten und Titanoxiden nachgewiesen und quantitativ erfasst werden.

Im Folgenden werden die an allen 24 Schwermineralproben durchgeführten WDS-Analysen an Ilmenit und Titanoxiden präsentiert und besprochen. Die kompletten Messergebnisse der

Elektronenstrahlmikrosondenanalyse sind digital auf dem Datenträger (DVD), welcher der Masterarbeit beiliegt, zu finden.

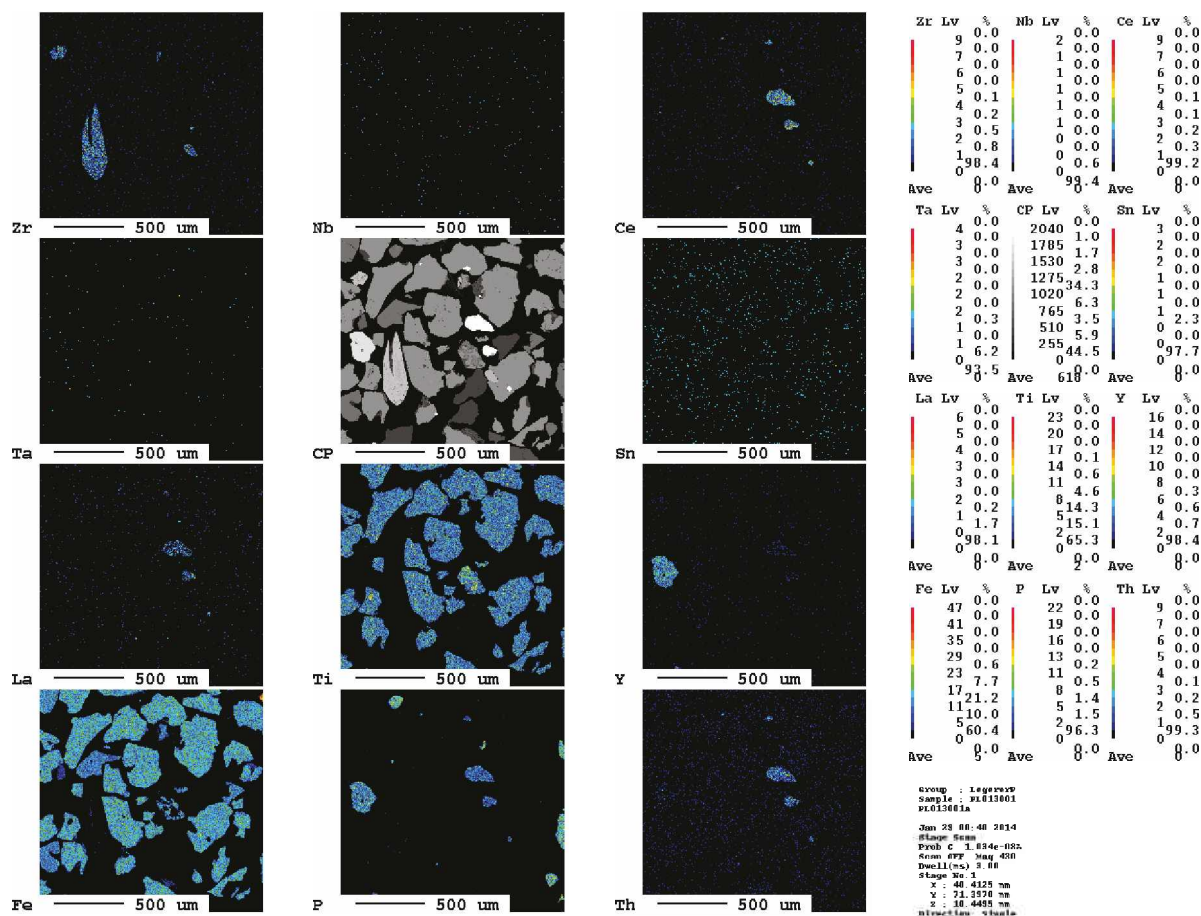


Abb. 25: Elementverteilungsbilder eines Ausschnitts der Probe PL013001 für die Elemente Zr, Nb, Ce, Ta, Sn, La, Ti, Y, Fe, P und Th. Das auf alle Kornbereiche zutreffende Untergrundrauschen ist nicht mit einer tatsächlich messbaren Elementverteilung zu verwechseln. (CP=Rückstreuelektronenbild)

4.3.2 Chemische Zusammensetzung von Ilmenit

Aufgrund der mengenmäßig klar dominierenden Mineralphase Ilmenit wurde das Hauptaugenmerk der quantitativen Analyse auf dieses Mineral gelegt. Um qualitativ schlechte Messungen auszusortieren wurden alle Messergebnisse mit einem Total von 98 und < 102 Gew% oder einer Abweichung der Stöchiometrie von $\pm 2\%$ aussortiert. Die Messergebnisse der verbleibenden 1278 Messungen, welche die gewünschten Genauigkeitskriterien erfüllen, sind in Tab. 10 für jede Probe zusammengefasst. Es werden die Minimal-, Maximal-, Medianwerte und Anzahl der Messungen ausgewiesen. Die Einzelanalysen sind auf dem Datenträger (DVD) im Anhang der Masterarbeit zu finden.

Die Ilmenite besitzen ein durchschnittliches Total (Median) von 99,75 bzw. 99,26 Gew% für Sandl bzw. Weitra. Der durchschnittliche Eisenoxidgehalt der Sandl-Proben liegt bei 44,4 Gew%, der Weitra-Proben bei 43,7 Gew%, jener von Titanoxid bei 51,6 bzw. 52,1 Gew%. Die Ilmenite weisen mit 3,1 bzw. 2,8 Gew% MnO für die beiden Beprobungsgebiete einen relativ hohen Mangengehalt

auf. Die beiden Proben 9 und 11 fallen durch signifikant höhere mittlere MnO Gehalte von 4,3 bzw. 4,1 Gew% auf. Die maximalen MnO Gehalte dieser Proben erreichen bis 9,9 bzw. 11,9 Gew% MnO. Der höchste Durchschnittsgehalt (Median) aller Proben für Niob ist 1535 ppm Nb_2O_5 , der niedrigste ist 740 ppm. Beide Werte gelten für Sandl. In Weitra liegen die durchschnittlichen Werte bei 790 bis 1270 ppm Nb_2O_5 . Der Durchschnittsgehalt aller Proben liegt bei 968 ppm in Sandl und bei 1000 ppm in Weitra. Jene von Tantal liegen zwischen 690 und 1220 ppm Ta_2O_5 in Sandl mit einem Durchschnittswert aller Proben von 1000 ppm. In Weitra sind dies 935 bis 1205 ppm resp. 1070 ppm Ta_2O_5 .

Die MgO-Gehalte sind niedrig, die Durchschnittsgehalte liegen zwischen 240 und 630 ppm. Die Werte für Al_2O_3 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , SnO_2 , ZnO , SiO_2 und WO_3 liegen meist unter der Nachweisgrenze (siehe kleine Anzahl der Messungen in der Spalte 4 der Tab. 10. Einzelne Messungen für W, vor allem aber auch Zn, liegen deutlich über den jeweiligen Nachweisgrenzen. Die höchsten WO_3 -Gehalte (Maximalwerte) wurden in den Proben 7 und 11 gemessen. Sie erreichen dort Konzentrationen von 0,43 Gew% WO_3 . In den Proben 19, 29, 35 und 37 wurden max. ZnO-Gehalte von 2 Gew% in Ilmenit nachgewiesen. Die Granitgrus-Probe 13 weist einen Maximalgehalt 4,4 Gew% auf.

Der maximale Durchschnittsgehalt von WO_3 kann aber 1930 ppm und jener von ZnO 2160 ppm betragen und ist somit gegenüber den anderen Spurenelementen deutlich erhöht.

einbauen können und daher die WDS-Messungen zu geringeren Totals ausweisen (vgl. Pownceby et al. 2008).

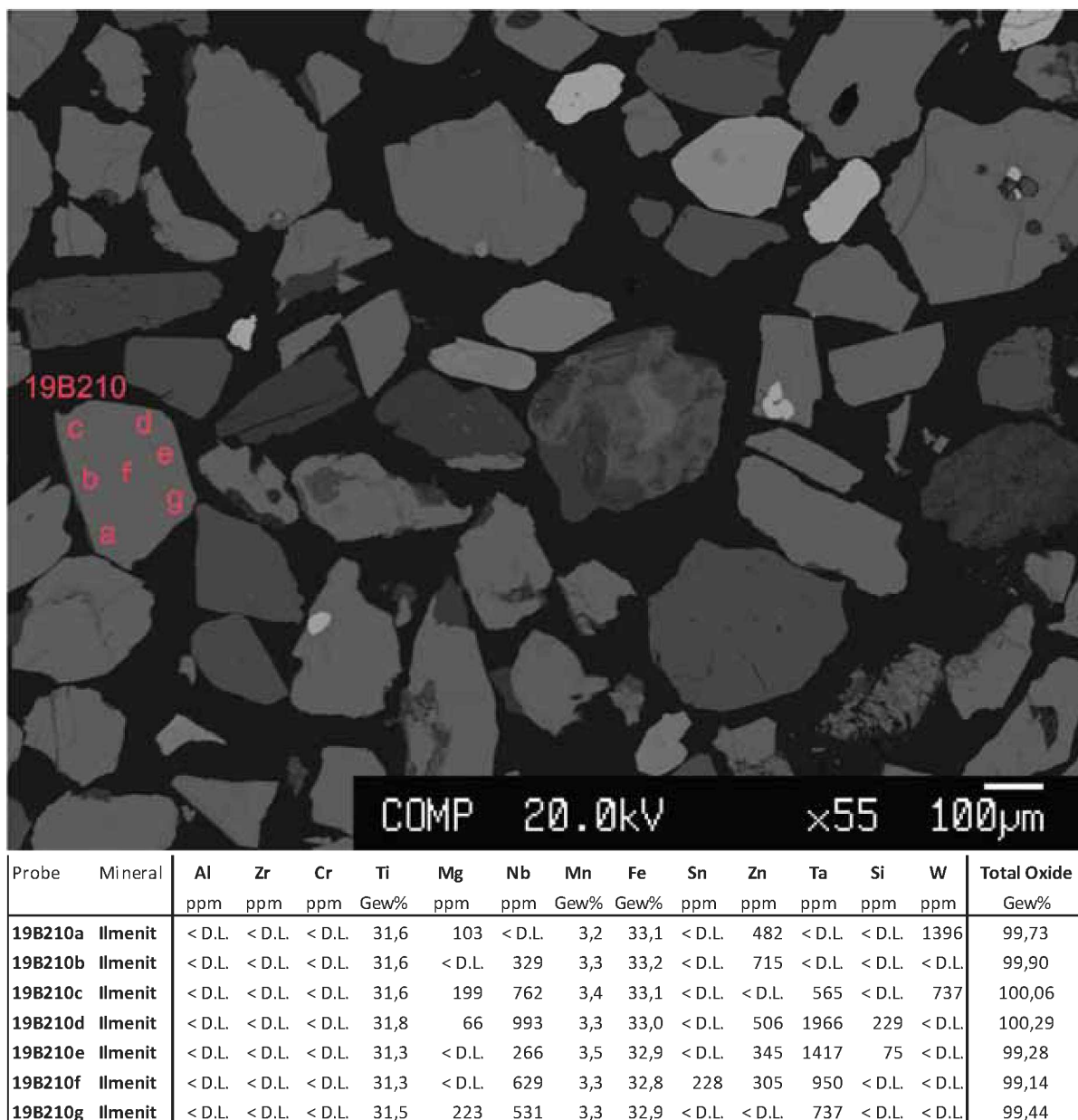
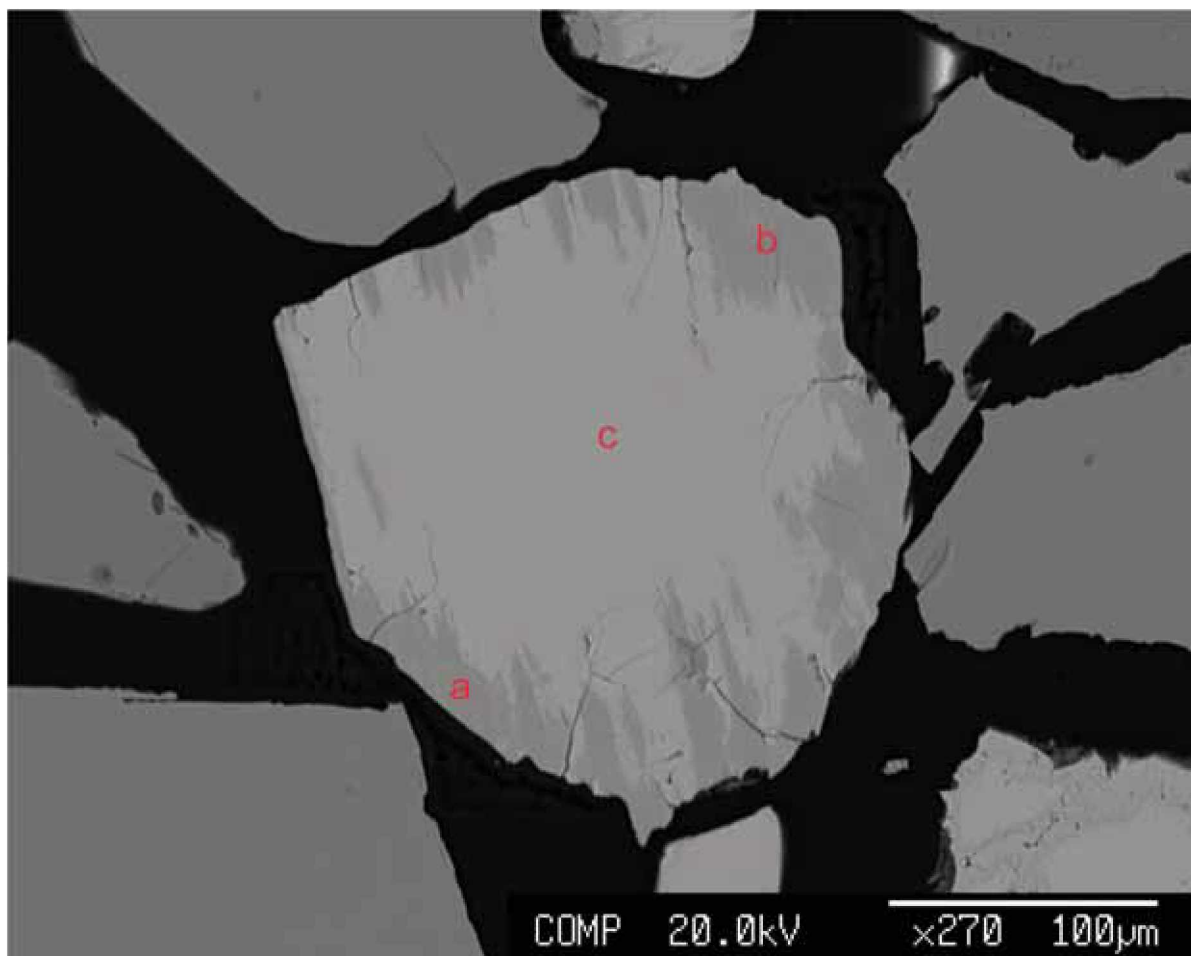


Abb. 26: Rückstreuelektronen-Bild eines monomineralischen Ilmenitkorns mit der Messbezeichnung 19B210 samt Messpunkten und dazugehöriger Ergebnisstabelle. (< D.L. = unter der Nachweisgrenze)

In Abb. 26 ist im linken Bildbereich ein monomineralisches Ilmenitkorn zu erkennen an dem 7 Einzelmessungen durchgeführt wurden. Die Werte für Al, Zr und Cr liegen bei allen Messpunkten unter der Nachweisgrenze. Auch Sn, Si und W liegen oftmals unter der Nachweisgrenze. Der Mittelwert von Fe liegt bei 33,0 Gew%, Ti bei 31,5 und Mn bei 3,3 Gew%.

Die Nb-Gehalte variieren von 266 bis 993 ppm, jene von Ta von 565 bis 1966 ppm. Das Verhältnis Nb/Ta streut stark von 0,19 bis 1,35. Auffallend sind die hohen Ta-Werte dieses Ilmenitkorns.



Probe	Mineral	Al	Zr	Cr	Ti	Mg	Nb	Mn	Fe	Sn	Zn	Ta	Si	W	Total Oxide
		ppm	ppm	ppm	Gew%	ppm	ppm	Gew%	Gew%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Gew%
29B24a	Ilm alt.	4303	< D.L.	< D.L.	41,4	n.gem.	1426	0,8	11,7	< D.L.	14695	762	3898	< D.L.	89,00
29B24b	Ilm alt.	3869	< D.L.	< D.L.	42,1	n.gem.	902	0,8	11,8	< D.L.	14430	753	3796	1515	90,15
29B24c	Ilmenit	< D.L.	348	< D.L.	30,7	n.gem.	769	2,9	33,7	< D.L.	4829	737	< D.L.	< D.L.	99,14

Abb. 27: Rückstreuelektronen-Bild eines an den Rändern an Fe abgereicherten Ilmenitkorns (dunklere Bereiche, a und b) der Probe 29B24 mit Messpunkten und dazugehöriger Ergebnistabelle (Ilm alt. = alterierter Ilmenit; < D.L. = unter der Nachweisgrenze; n.gem. = nicht gemessen).

Der in Abb. 27 gezeigte Ilmenit weist eine randliche Zone auf mit einer Fe-Abreicherung, die mit einer Anreicherung von Ti korreliert. Diese alterierte Außenzone ist ärmer an Mn und reicher an Al und Si. Auffällig sind auch die hohen Zn-Werte der Randzone. Die Tantal-Gehalte sind sehr ähnlich, Niob hingegen zeigt eine Erhöhung in der Randzone. Die alterierten Bereiche weisen ein Total von << 100 Oxid-Gew% auf. Dies wird auf die Anwesenheit von H₂O zurückgeführt. Die beobachtete Elementverteilungsänderung in diesem Ilmenittyp konnte auch an Korn 35G79 bestätigt werden (siehe Originaldaten auf DVD).

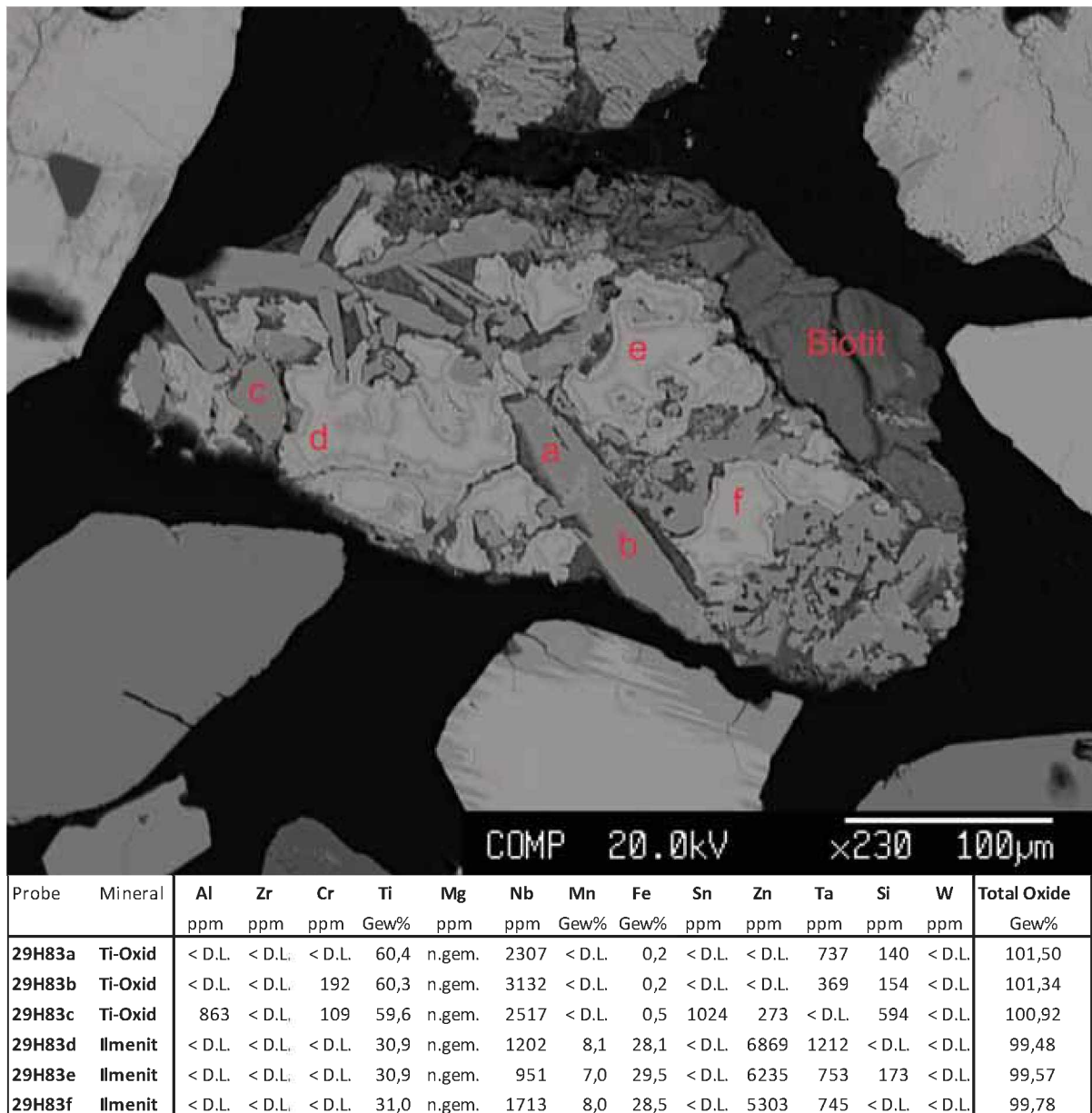


Abb. 28: Rückstreuelektronen-Bild eines polyphasen Kornes bestehend aus Titanoxid, Ilmenit und Biotit der Probe 29H83 mit Messpunkten und dazugehöriger Ergebnistabelle (< D.L. = unter der Nachweisgrenze; n.gem. = nicht gemessen).

Der Ilmenit im polyphasen Korn 29H83 zeigt eine starke Umwandlung und ist mit hypidomorphen tafeligen/prismatischen Titanoxiden verwachsen (Abb. 28). Dieser Ilmenit weist sehr hohe Manganwerte (7,0 bis 8,1 Gew%) auf. Der Ilmenit ist deutlich zoniert hinsichtlich Fe/Mn was anhand von EDS-Messungen festgestellt wurde. So ist der Mn-Gehalt außerhalb des dunkleren Randes wesentlich geringer als in der Mitte.

Die Nb-Gehalte von Ilmenit liegen zwischen 951 – 1713 ppm, jene von Ta zwischen 745 – 1212 ppm. Während die Nb-Konzentrationen in dem mit Ilmenit verwachsenen Ti-Oxid (vermutlich Anatas) signifikant höher sind (2307 – 3132 ppm), scheinen die Ta-Gehalte niedriger zu sein (< D.L. bis 737 ppm). Hohe Zn-Gehalte (5303 – 6869 ppm) sind auf den Ilmenit beschränkt. In den begleitenden Ti-Oxiden liegen sie immer unter der Nachweisgrenze.

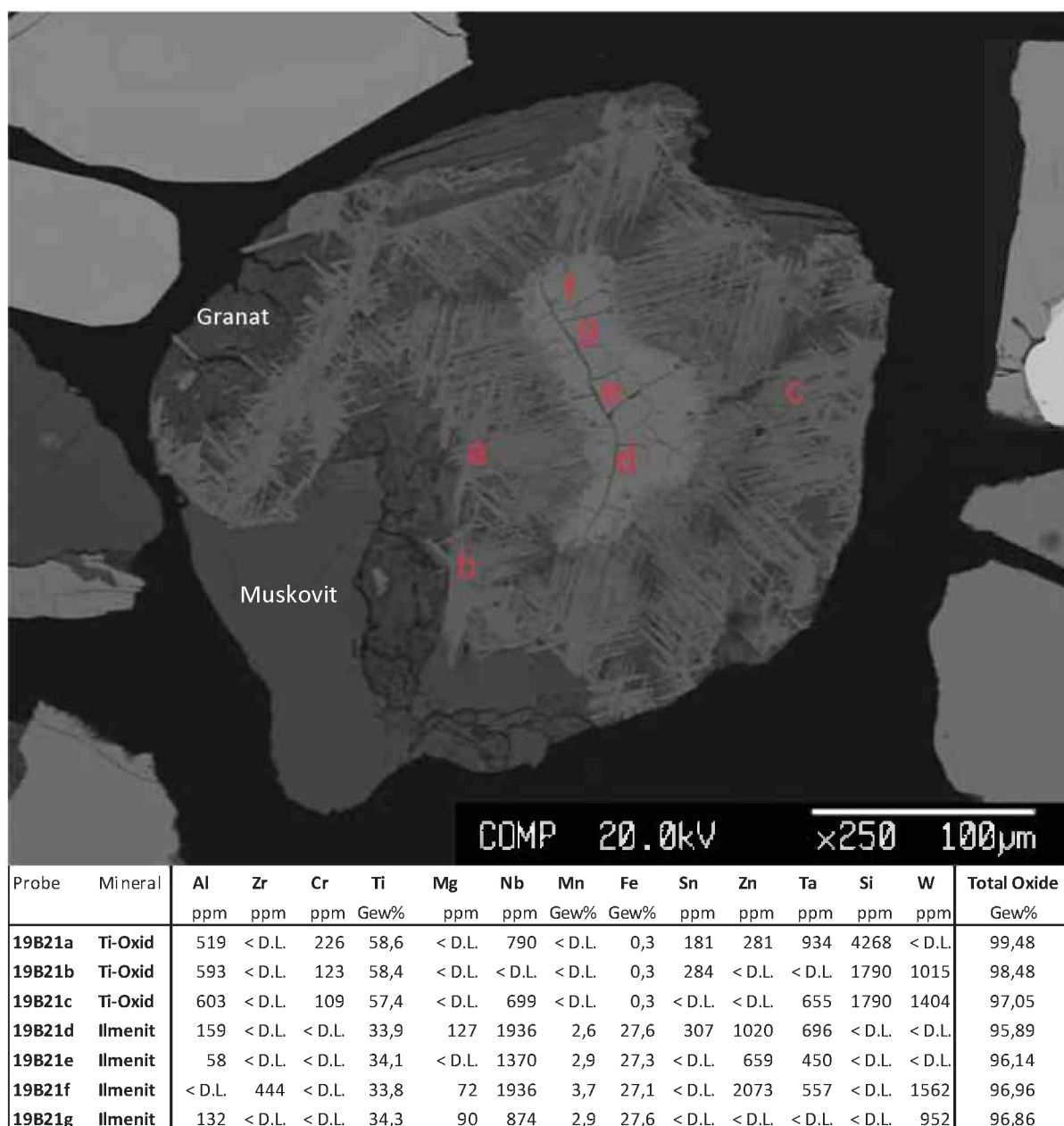


Abb. 29: Rückstreuerelektronen-Bild eines polyphasen Kornes der Probe 19B21 mit Messpunkten und dazugehöriger Ergebnistabelle. Titanoxid (Rutil?) mit sagenitischer Struktur (a-c), Ilmenit im Kornkern (d-g) mit Schrumpfungsrissen sowie Muskovit und Granat. (< D.L. = unter der Nachweisgrenze).

In Abb. 29 ist ein polyphasiges Korn mit Ilmenit in der Kornmitte und Titanoxid mit sagenitischer Struktur der Probe 19B21 mit Messpunkten und dazugehöriger Ergebnistabelle dargestellt. Der Ilmenit zeigt im Kern deutliche Mikrorisse, welche durch Fe-Auslaugung hervorgerufen worden sein dürften. Auffallend sind die im Vergleich zum Titanoxid höheren Nb- aber etwas niedrigeren Ta-Werte im Ilmenit. Mangan und Zn sind im Ilmenit stark erhöht. Chrom liegt nur im Titanoxid über der Nachweisgrenze.

Des Weiteren wurden an einigen Ilmeniten Profil-Messungen (Linien-Scans) durchgeführt, um eine mögliche Zonierung erkennen zu können. Abb. 30 zeigt beispielhaft das Korn 12 der Probe 21 an dem vier Profile (A1, A2, B1 und B2) gemessen wurden. Die Linien-Scans zeigen keinen systematischen Trend hinsichtlich der Gehalte an Niob oder Tantal. So variieren beide Elemente ohne erkennbares Muster vom Rand – Kern – Rand (Abb. 31 u. Abb. 32).

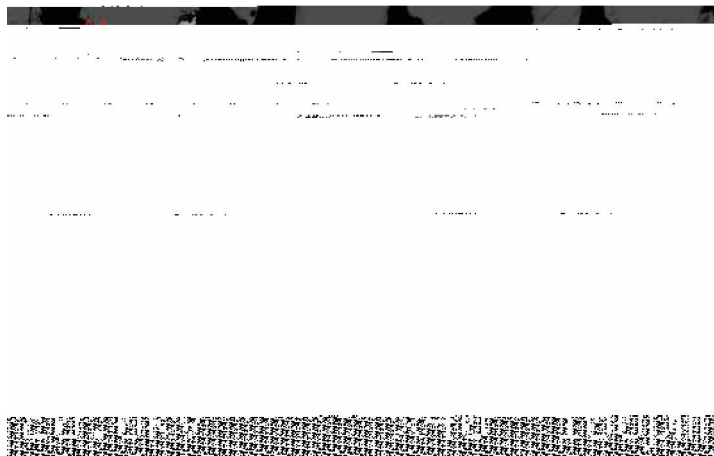


Abb. 30: BSE-Bild mit eingezeichneten quantitativen Messungen in Ilmenit entlang von vier Profillinien. Die A Linien beginnen links oben und folgen dem Pfeil nach rechts unten, die B Linien starten links unten und gehen nach rechts oben (21A12).

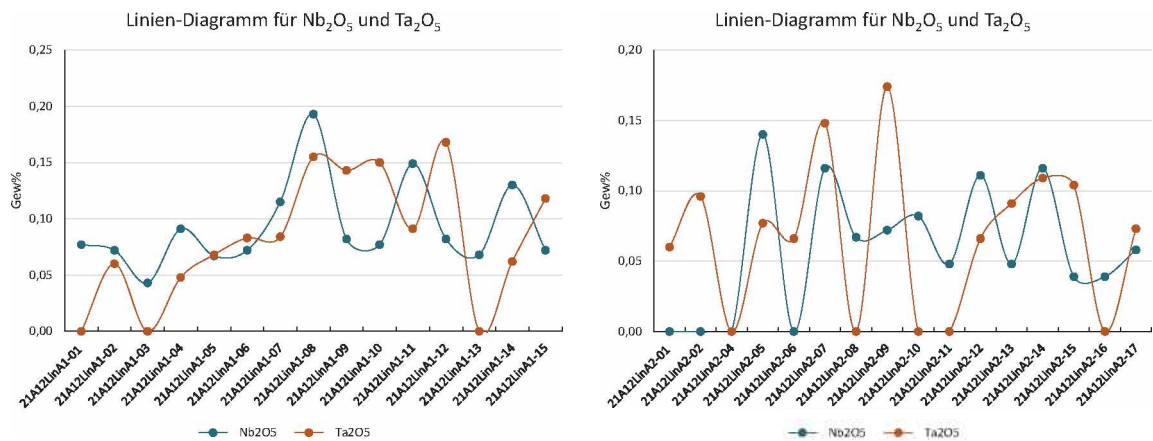


Abb. 31: Nb₂O₅ und Ta₂O₅ Konzentrationen in Ilmenit entlang von zwei Profillinien (links A1, rechts A2, siehe Abb. 30) im Korn A12, Probe 21.

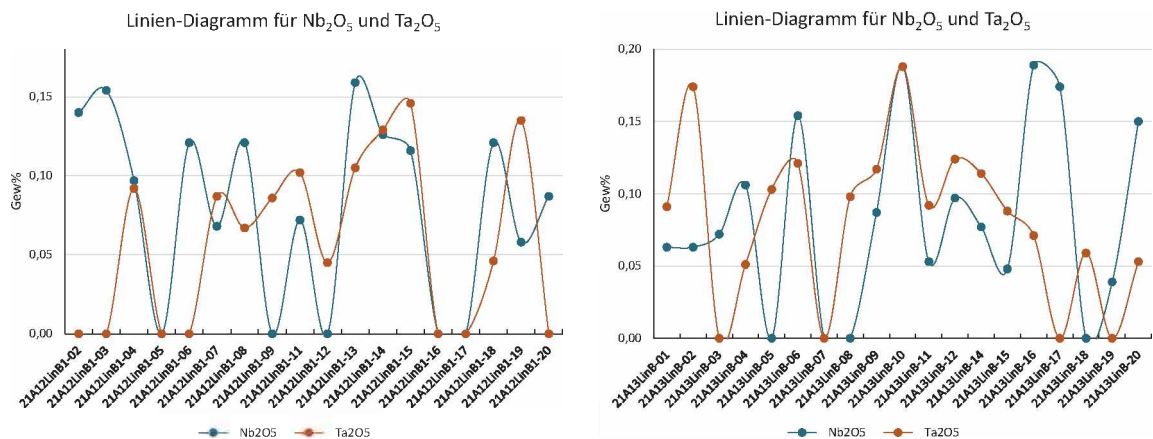


Abb. 32: Nb₂O₅ und Ta₂O₅ Konzentrationen in Ilmenit entlang von zwei Profillinien (links B1, rechts B2, siehe Abb. 30) im Korn A12, Probe 21.

Die Werte unter der Nachweisgrenze (< D.L.) sind in den Diagrammen Abb. 31 und Abb. 32 bewusst als Nullpunkte angeführt, um eine bessere grafische Darstellung zu ermöglichen. Aus demselben Grund wurden auch die die Punkte verbindenden Linien interpoliert.

4.3.4 Elementsubstitution in Ilmenit

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits dargestellt, belegen die EMS-Analysen an den Ilmenitkörnern eine gewisse Schwankungsbreite in deren Zusammensetzung hinsichtlich Haupt- und Spurenelemente. Um bei der Vielzahl der Messungen mögliche Trends in Bezug auf deren geographische Verteilung oder chemisch unterschiedliche Ilmenittypen (siehe Kapitel 4.1 Mineralogie der Schwermineralkonzentrate und Kapitel 4.3.3 Mineralchemie ausgewählter Körner) in einer Probe herauslesen zu können, wurde das Diagramm $y_{\text{Fe}} = \text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Mg}+\text{Zn})$ gegen $x_{\text{Ti}} = \text{Ti}/(\text{Ti}+\text{Nb}+\text{Ta}+\text{Zr}+\text{Cr}+\text{Sn}+\text{W})$ gewählt, das die Substitution der analysierten Elemente im Ilmenitgitter möglichst widerspiegelt. Der erste Parameter reflektiert im Wesentlichen die Substitution zweiwertiger Kationen, vor allem jene von Mn^{2+} , für Fe^{2+} in der Struktur. Der zweite Parameter spiegelt die Substitution höher geladener Kationen (HFS-Elemente) mit größerem Ionenradius auf der Ti-Position wider.

Der überwiegende Teil der y_{Fe} -Werte liegt im Bereich von 0,90 bis 0,95 mit Minimalwerten von 0,75. Damit weist der y_{Fe} -Parameter eine erhebliche Variationsbreite auf. Die starke Streuung dieses Parameters ist auf die unterschiedlich hohen Konzentrationswerte, teilweise im %-Bereich, von Mn und Zn zurückzuführen (vgl. Tab. 10 Übersicht der Elektronenstrahlmikrosondenmessungen).

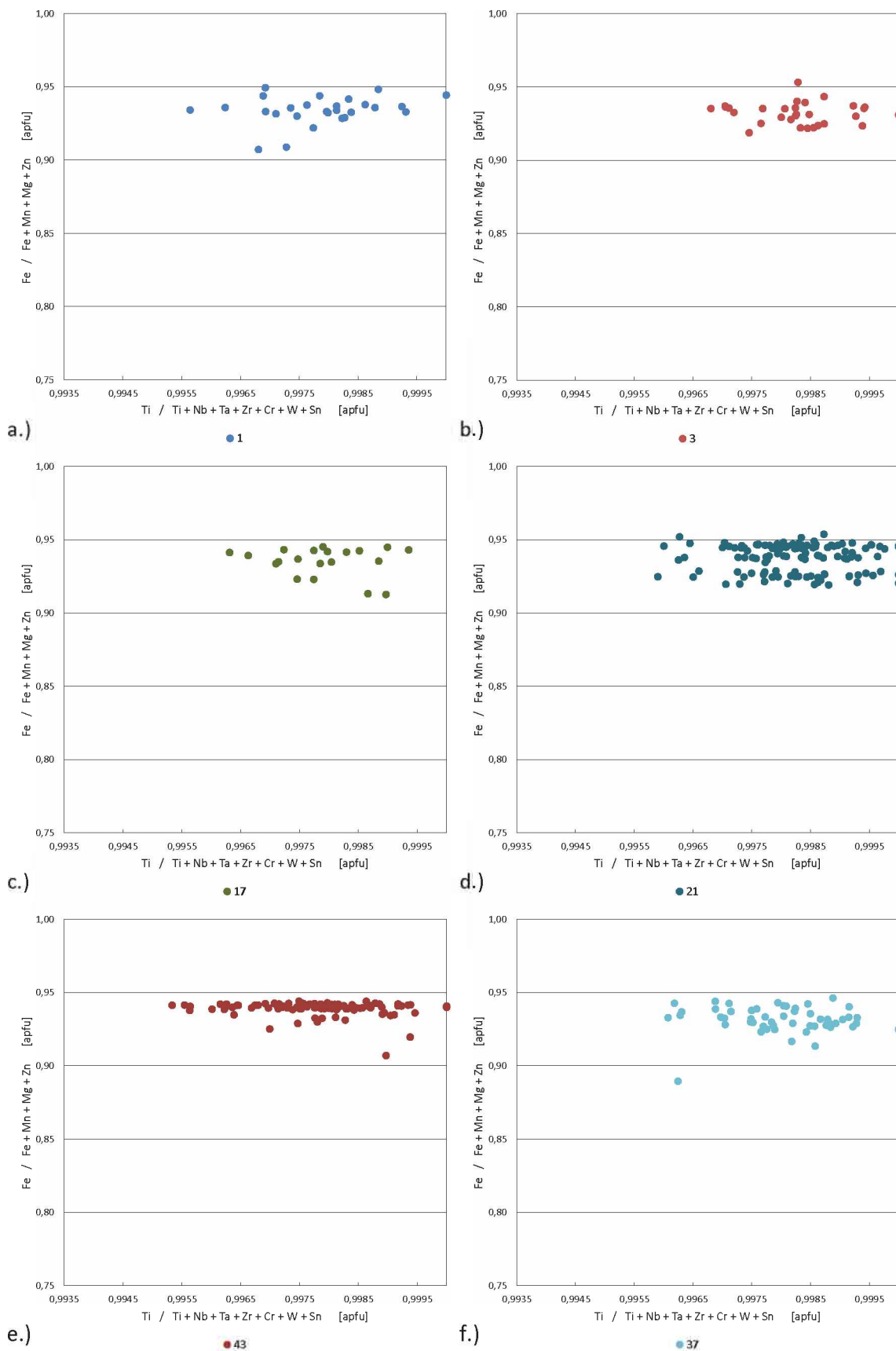
Die x_{Ti} -Werte sind im Vergleich dazu mit 0,9935 bis 0,9995 wesentlich weniger stark streuend. Dies ist auf die inhomogenen Nb- und Ta-Werte sowie auf die, wenn vorhanden, hohen W-Gehalte zurückzuführen. Im Folgenden werden die einzelnen Proben nach Probengebiet und Art der Probe getrennt dargestellt.

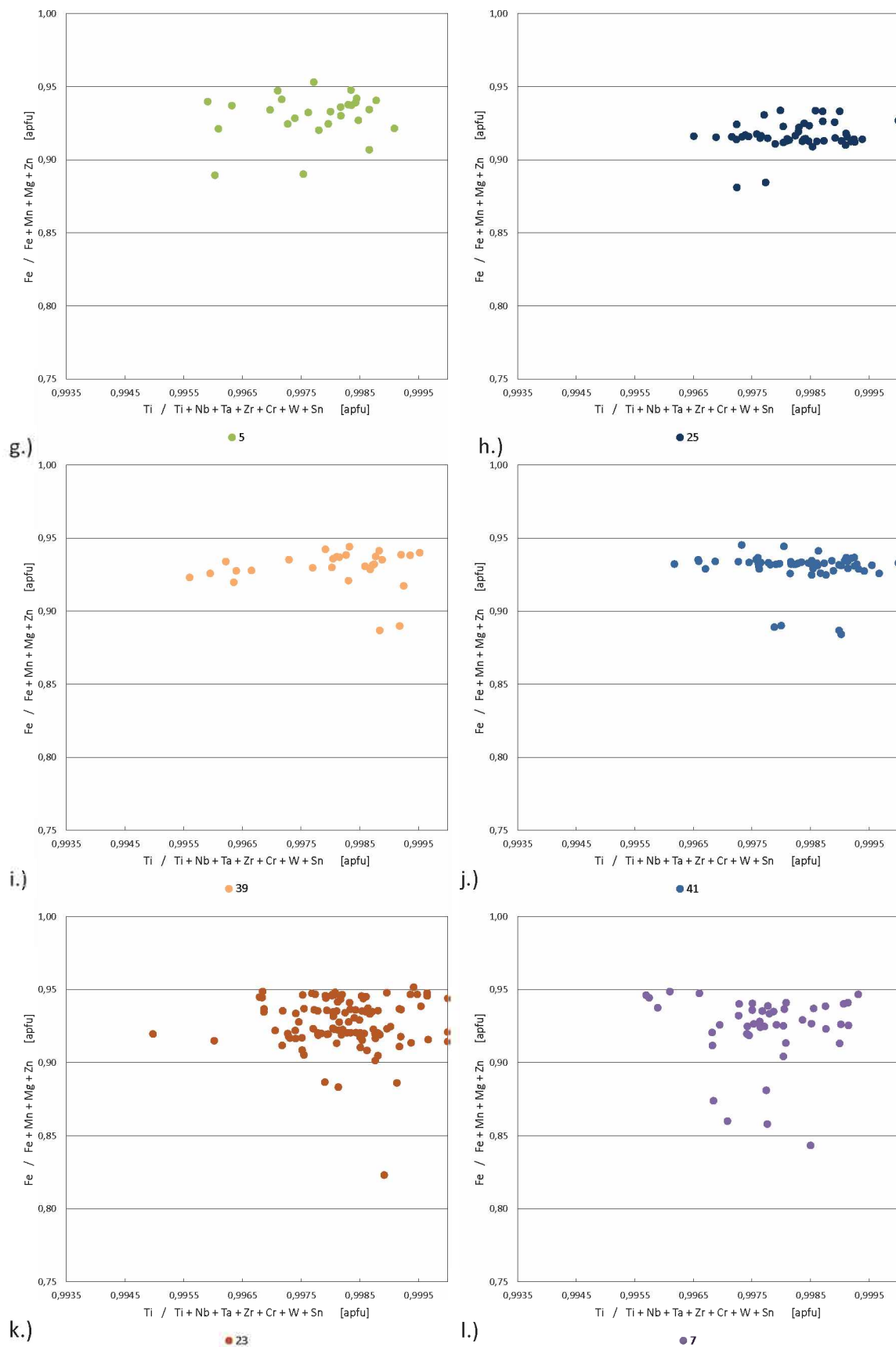
Die Werte der SM-Proben aus dem Raum Sandl sind der Abb. 33 a-r zu entnehmen. Die Proben 1, 3, 17, 21 und 43 zeigen eine recht homogene Fe-Substitution mit y_{Fe} -Werten von 0,90 bis 0,95 (Abb. 33 a-e). Ein Großteil der Werte der Proben 37, 5, 25, 39 und 41 weist eine ähnliche Verteilung auf, einige zeigen jedoch deutlich niedrigere y_{Fe} -Werte $< 0,90$ (Abb. 33 f-j). Diese Trennung in zwei Populationen deutet auf das Vorhandensein von zwei Generationen von Ilmeniten in einer Probe hin (siehe z.B. Probe 21, Abb. 33d), wobei eine durch höhere Mn-Gehalte charakterisiert ist. Die Probe 25 weist im Allgemeinen niedrigere Fe-Werte auf (Abb. 33 h). Die Proben 23, 7, 35 und 27 zeigen eine breite inhomogene Fe-Verteilung zwischen 0,90 und 0,95 sowie wesentlich niedrigere y_{Fe} -Werte (Abb. 33 k-n). Die y_{Fe} -Werte der Proben 9, 11, 19 und 29 variieren sehr stark mit teils sehr niedrigen Werten bis 0,64 (Abb. 33 o-r). Aus Gründen der besseren optischen Vergleichbarkeit wurde die Ordinatenachse auf einen Minimumwert von 0,75 reduziert, somit kann ein Messwert der Probe 19 mit $x_{\text{Ti}} = 0,642$ und $y_{\text{Fe}} = 0,997$ nicht angezeigt werden.

Der überwiegende Teil der x_{Ti} -Werte liegt im Bereich zwischen 0,9955 und 0,9995 wobei hier die meisten Werte größer als 0,9965 sind. Lediglich einzelne Ausreißer weisen Werte $< 0,9965$ auf wie jene der Proben 43, 35, 9, 11, 19 und 29 (Abb. 33 e, m, o, p, q, r).

Die y_{Fe} -Werte der Proben aus dem Gebiet Weitra besitzen eine Variationsbreite von 0,88 bis 0,95 mit zwei Ausreißern der Probe 49 (Abb. 34 a-c). Die x_{Ti} -Werte liegen alle im Bereich zwischen 0,9955 und 1,0000.

Die Granitgrus-Proben (Abb. 35 a-c) zeigen im Allgemeinen eine etwas weniger starke Streuung der y_{Fe} -Werte als die Bachsedimente. Die y_{Fe} -Werte liegen teilweise über 0,95 speziell jene der Probe 53. Der Gros der x_{Ti} -Werte ist im Bereich 0,9965 bis 0,9995.





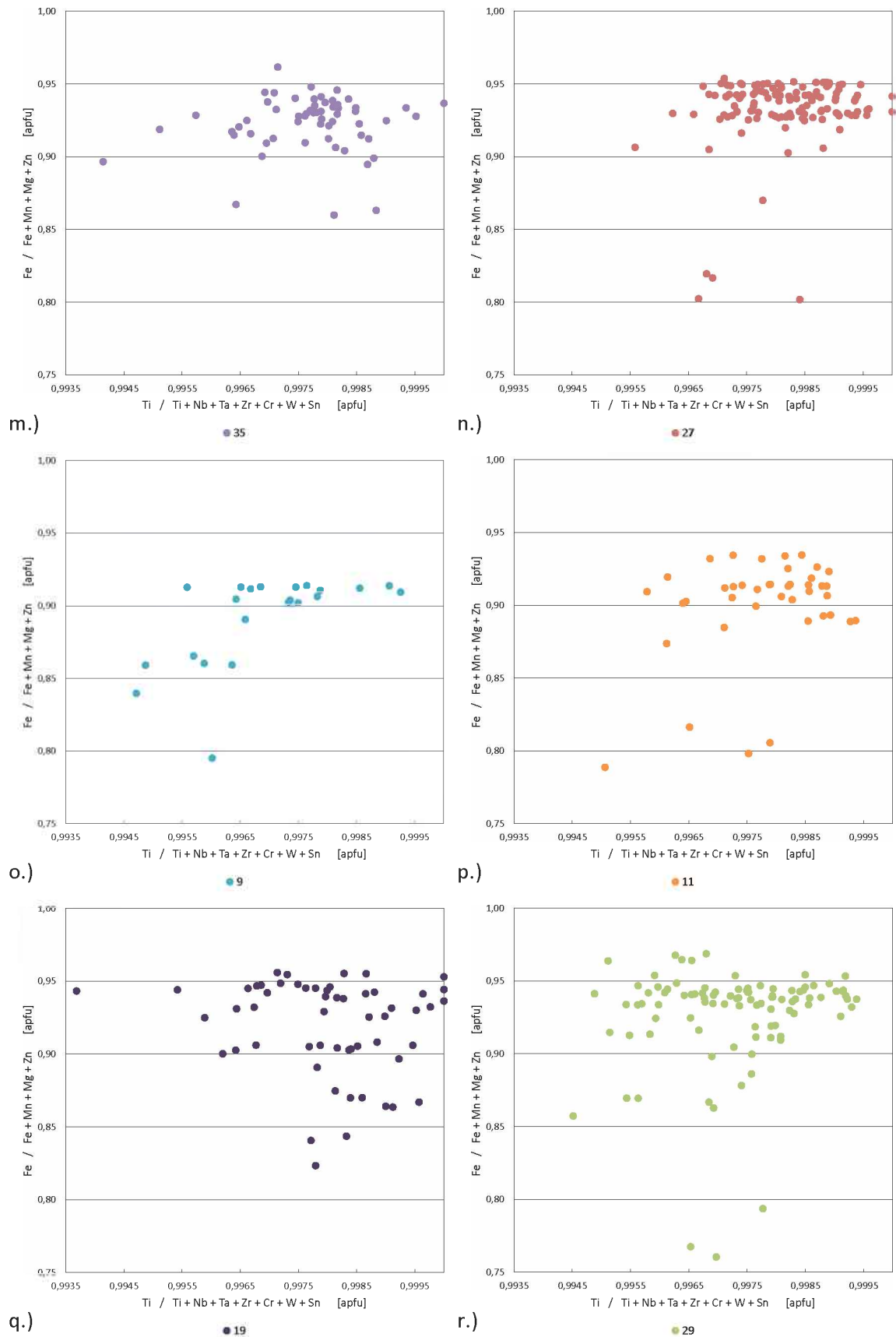


Abb. 33 a-r: Bachsediment-Proben aus dem Raum Sandl mit $y = \text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Mg}+\text{Zn}$ gegen $x = \text{Ti}/\text{Ti}+\text{Nb}+\text{Ta}+\text{Zr}+\text{Cr}+\text{Sn}+\text{W}$ aufgetragen.

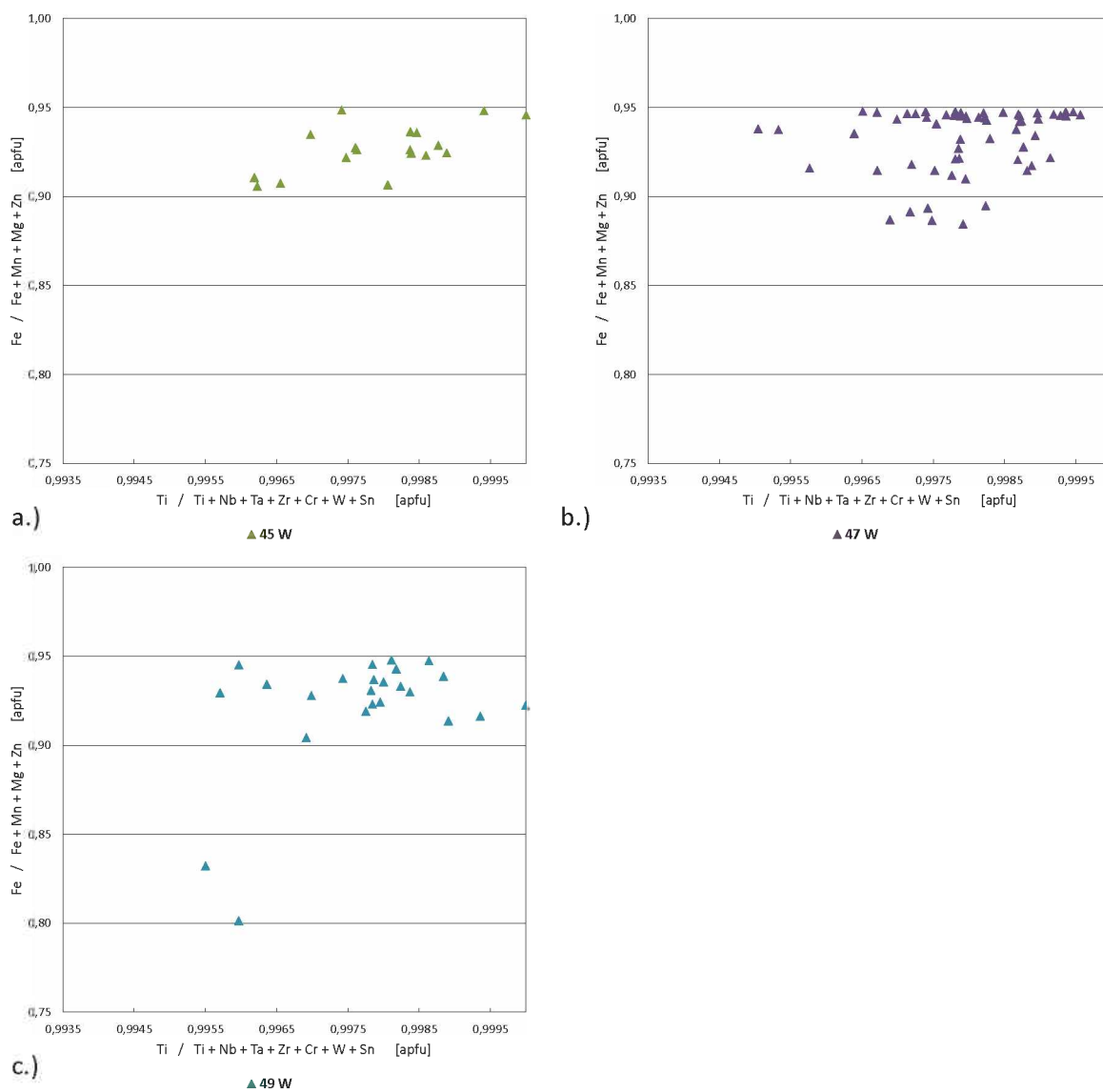


Abb. 34 a-c: SM-Proben aus dem Gebiet Weitra mit $y = \text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Mg}+\text{Zn}$ gegen $x = \text{Ti}/\text{Ti}+\text{Nb}+\text{Ta}+\text{Zr}+\text{Cr}+\text{Sn}+\text{W}$ aufgetragen.

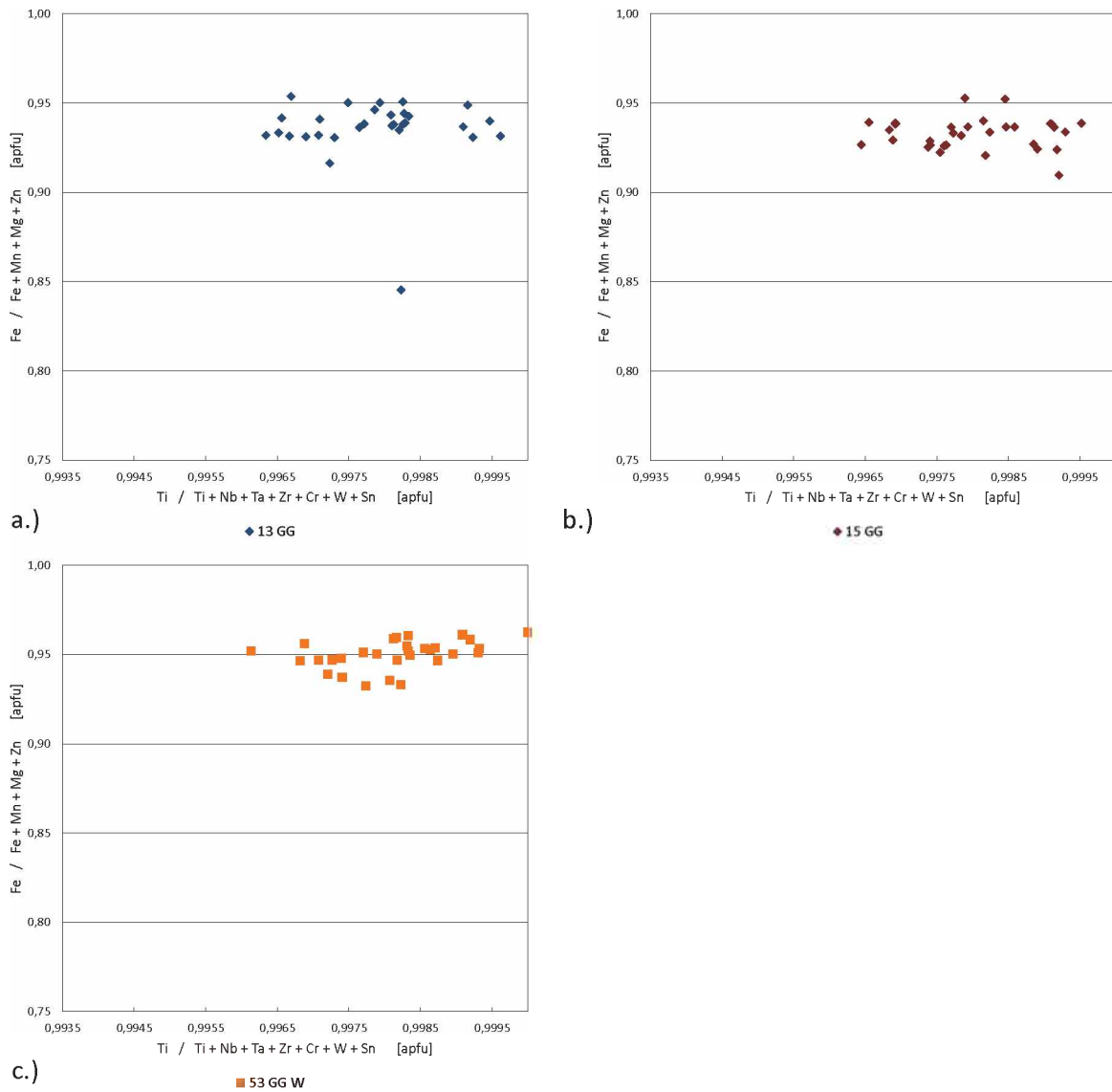


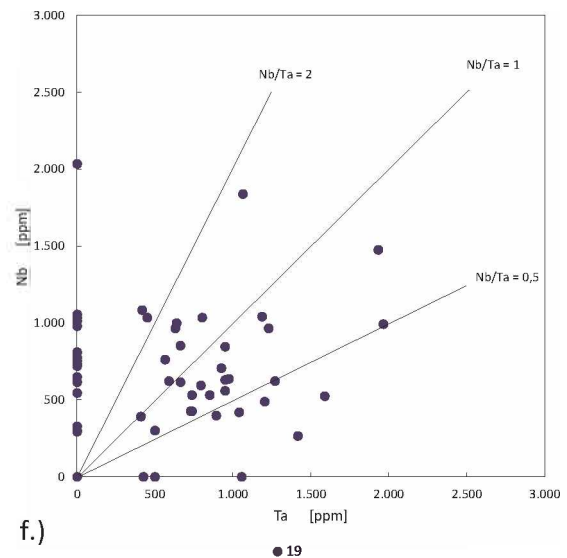
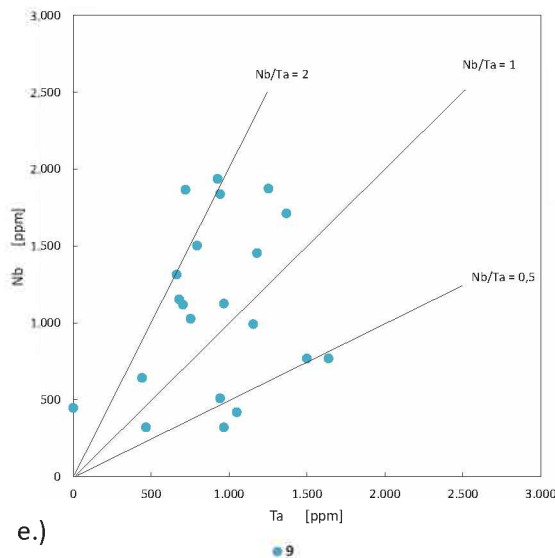
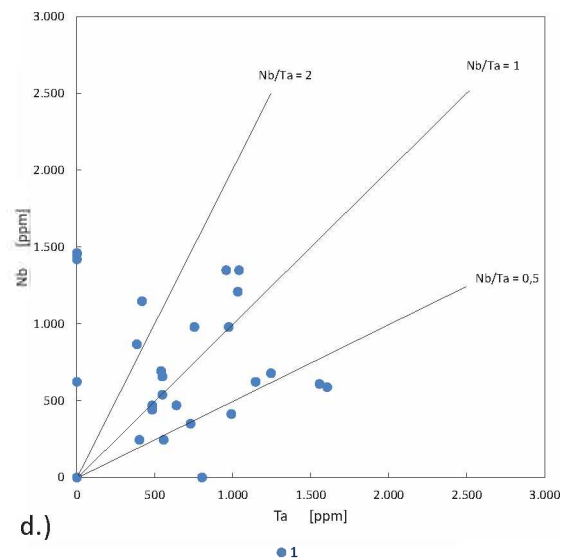
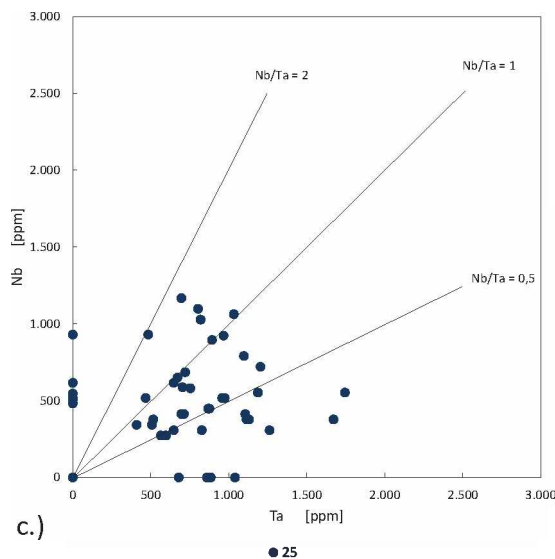
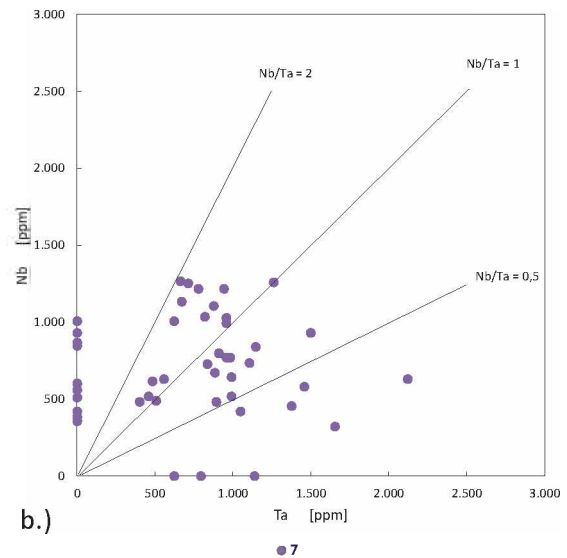
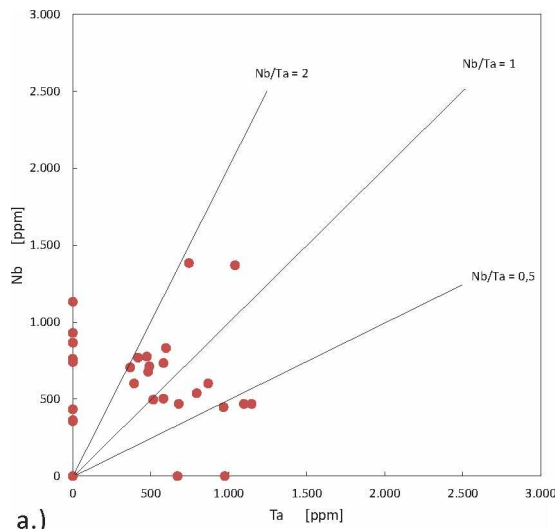
Abb. 35 a-c: Granitgrus-Proben mit $y = \text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Mg}+\text{Zn}$ gegen $x = \text{Ti}/\text{Ti}+\text{Nb}+\text{Ta}+\text{Zr}+\text{Cr}+\text{Sn}+\text{W}$ aufgetragen.

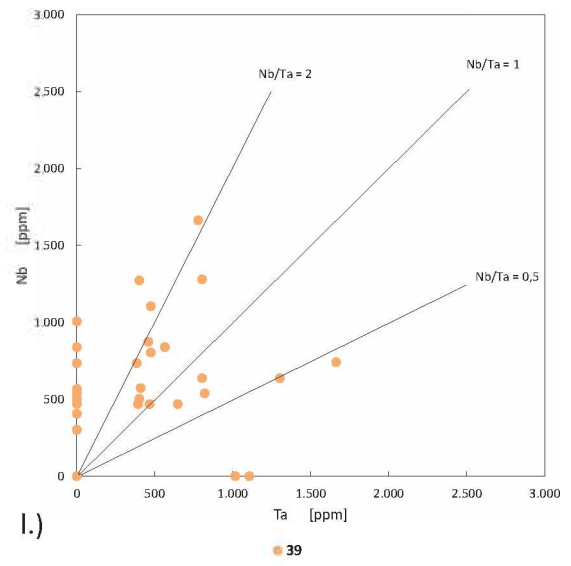
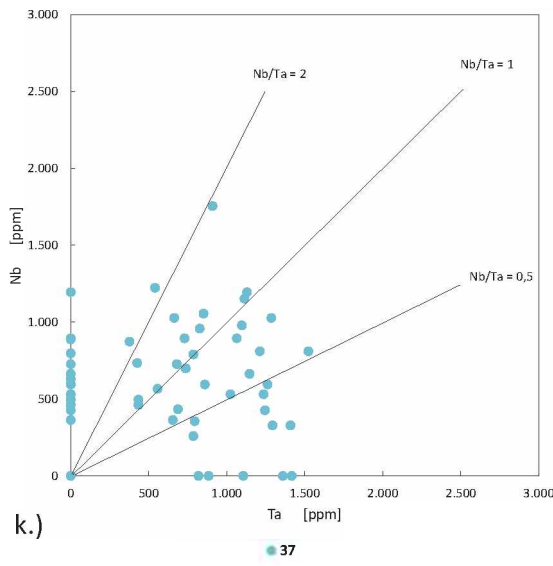
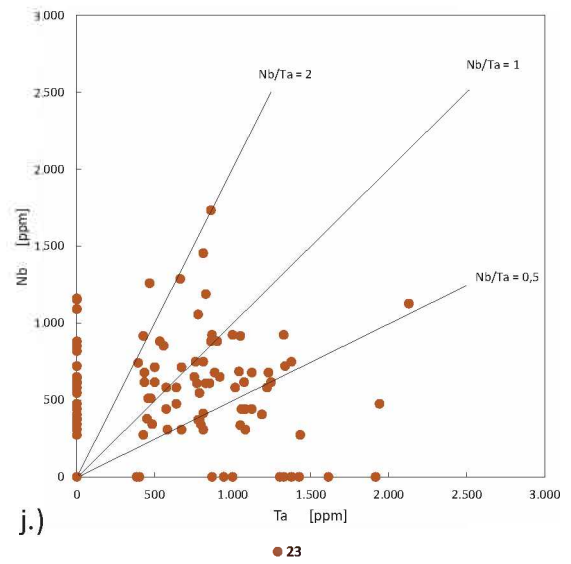
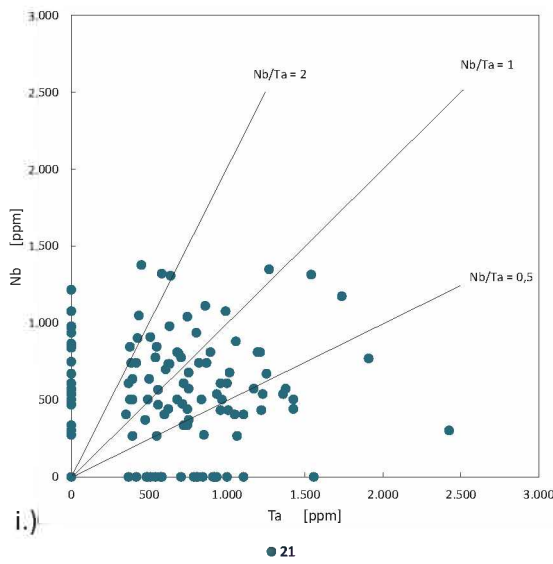
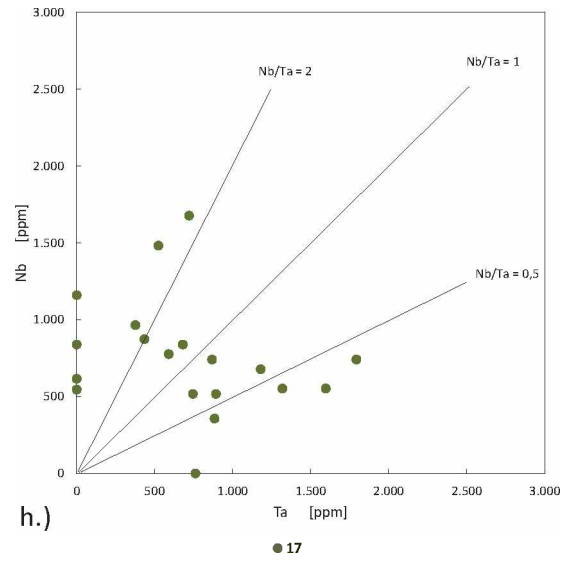
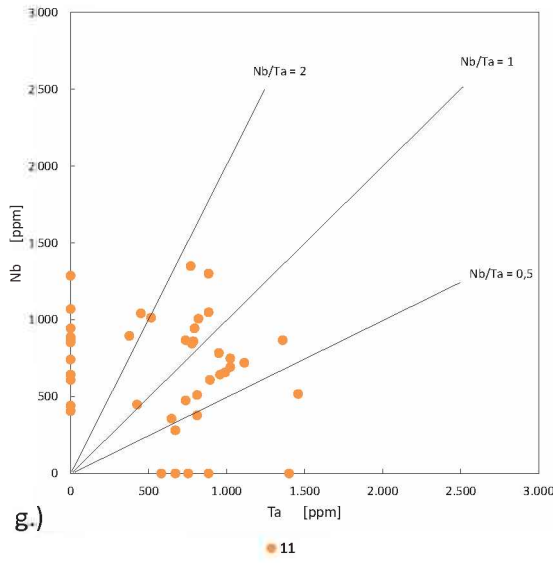
4.3.5 Nb- und Ta-Konzentration und Nb/Ta Verhältnis in Ilmenit

Die Variation der Nb- und Ta-Konzentrationen, welche bereits in der Tab. 10 zusammengefasst wurden, sowie deren Verhältnis zueinander werden im Folgenden im Detail präsentiert. In den Abb. 36 bis Abb. 38 werden alle Nb- und Ta-Werte, der an den Ilmeniten durchgeführten EMS-Messungen, grafisch dargestellt. Das Verhältnis Nb/Ta gilt als Indikator für eine relative Ta-Anreicherung im Vergleich zum durchschnittlichen Krustengehalt. Die als „Null-Wert“ abgebildeten Datenpunkte entsprechen den Werten unterhalb der Nachweisgrenze. Die Einzelwerte aus den Analysen befinden auf dem Datenträger.

Die Abb. 36 a-r zeigen die Nb- und Ta-Gehalte der einzelnen Proben aus dem Raum Sandl. Das Gros der Werte zeigt ein Nb/Ta Verhältnis von 0,5 bis 2,0. Die Proben 5, 27, 29 und 35 (Abb. 36 o, q, p, n) weisen hingegen bei einigen Analysepunkten etwas höhere Verhältnisse auf (3,2 bis 6,7). Die Probe

29 weist die größte Streuung auf, dies konnte bereits im vorigen Kapitel 4.3.4 beobachtet werden. Die übrigen Proben zeigen hingegen keinen klar ersichtlichen Trend.





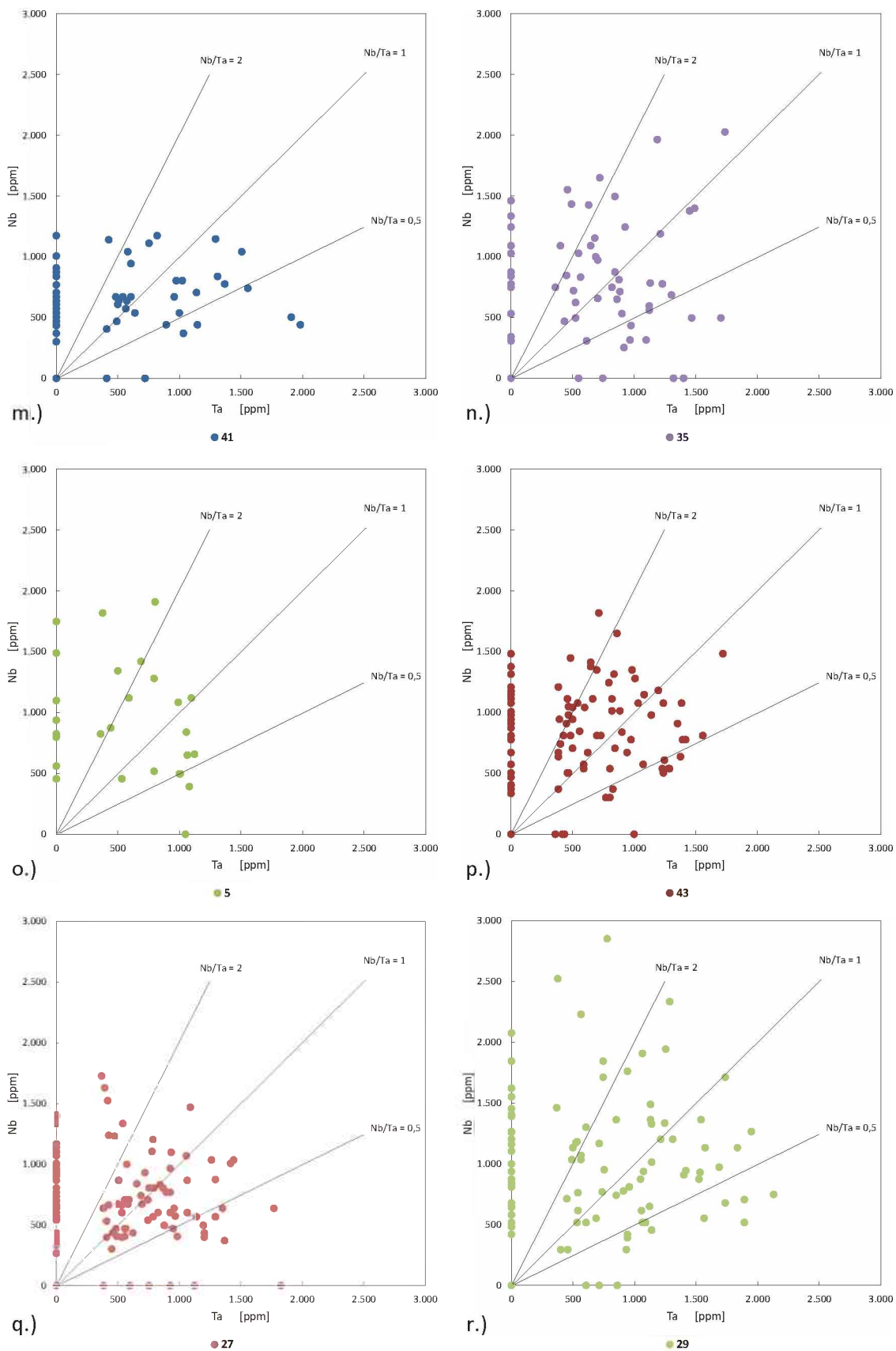


Abb. 36 a-r: Diagramme der Nb- gegen Ta-Konzentration mit dem Nb/Ta Verhältnis (Linien) der Ilmenite aus den SM-Proben, Raum Sandl.

Die Proben aus dem Raum Weitra (Abb. 37 a-c) zeigen ein ähnliches Muster wie jene aus Sandl. Während die Proben 45 und 49 ein Nb/Ta Verhältnis < 2 aufweisen, zeigt die Probe 47 Werte bis 3,1.

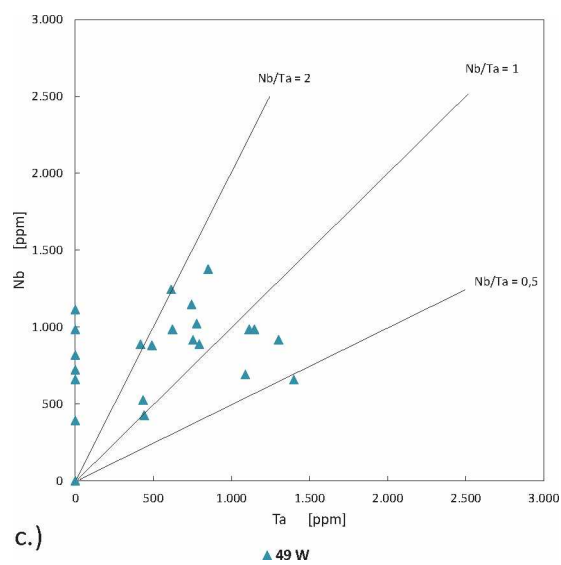
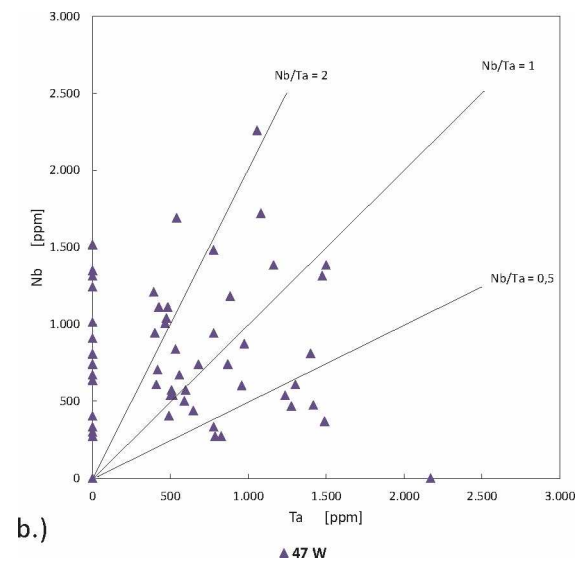
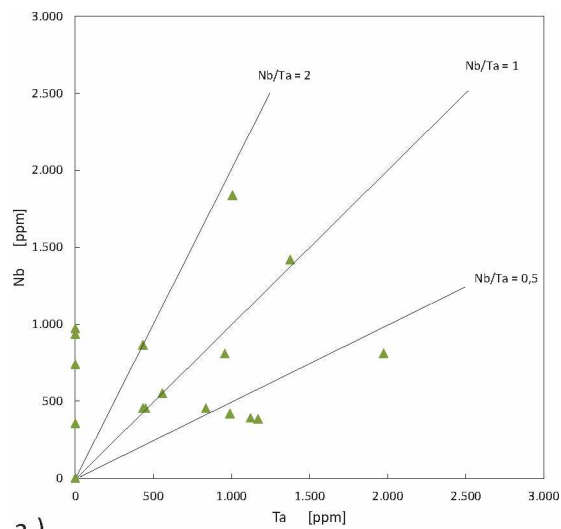


Abb. 37 a-c: Diagramme der Nb- gegen Ta-Konzentration mit den Nb/Ta Verhältnis (Linien) für die SM-Proben aus dem Raum Weitra.

Abb. 38 zeigt die Nb/Ta Verhältnisse der Granitgruse. Die Verteilung ist ähnlich wie bei den SM-Proben obgleich die Maximalverhältnisse hinsichtlich Verhältnis und Nb-Gehalt geringer sind.

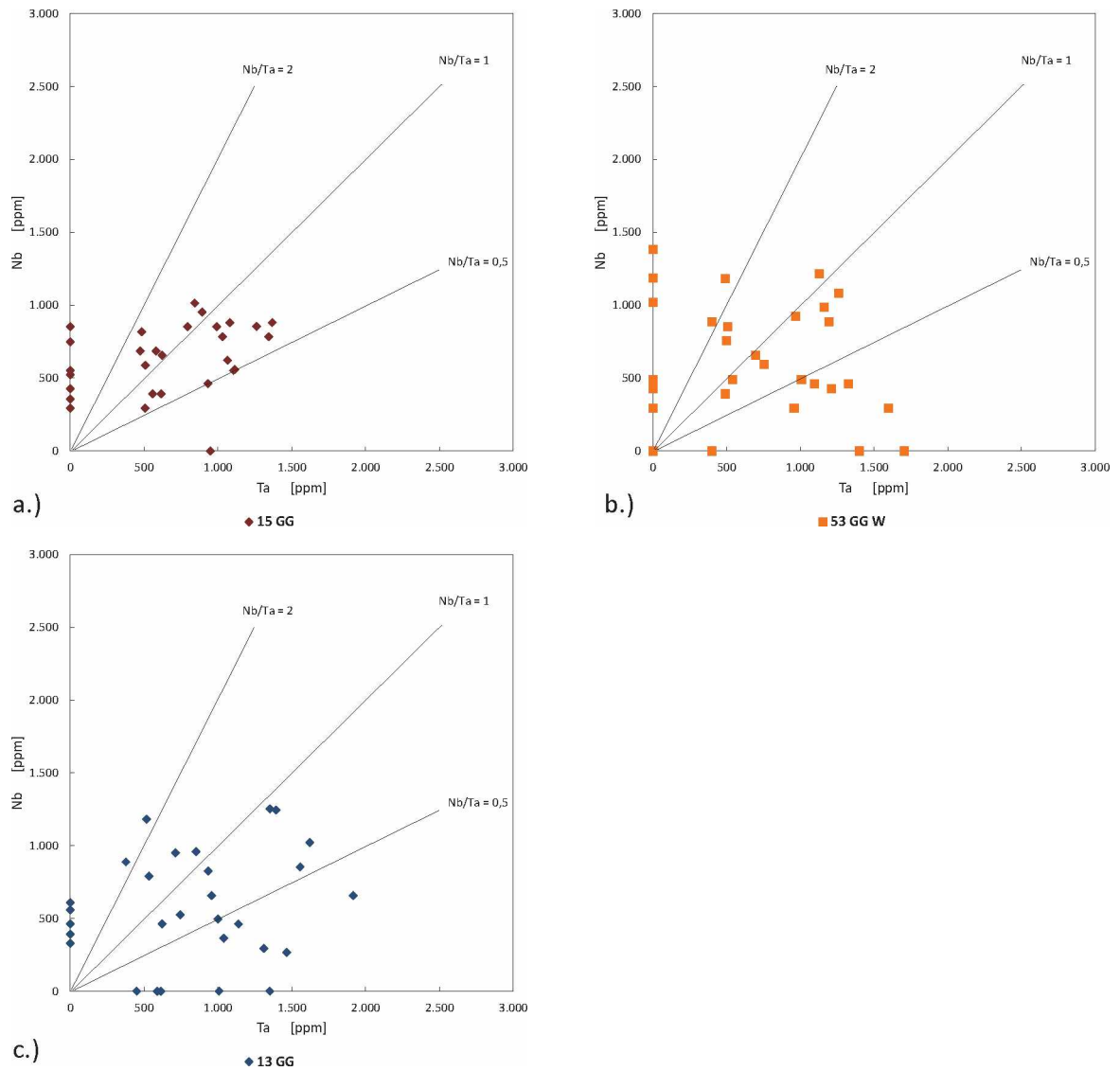


Abb. 38 a-c: Diagramme der Nb- gegen Ta-Konzentration mit den Nb/Ta Verhältnis (Linien) für die GG-Proben.

Zur besseren Gegenüberstellung der SM-Proben Sandl und Weitra sowie der GG-Proben wurden deren Nb/Ta Verhältnisse jeweils in ein separates Diagramm geplottet (Abb. 39 a-c). Die sehr ähnliche Verteilung wird somit gut ersichtlich.

Abb. 39 d präsentiert die Nb/Ta Verhältnisse des gemessenen Ilmenit-Standards. Aufgrund der höheren Nb-Werte ist die y-Achsenkalierung dieses Diagramms verändert worden. Im Vergleich zu den SM- und GG-Proben ist der Tantalgehalt im Standard ähnlich, der Niobgehalt jedoch wesentlich größer. Dies resultiert auch in auffallend höheren Nb/Ta Verhältnis von ca. 10 für den Standard.

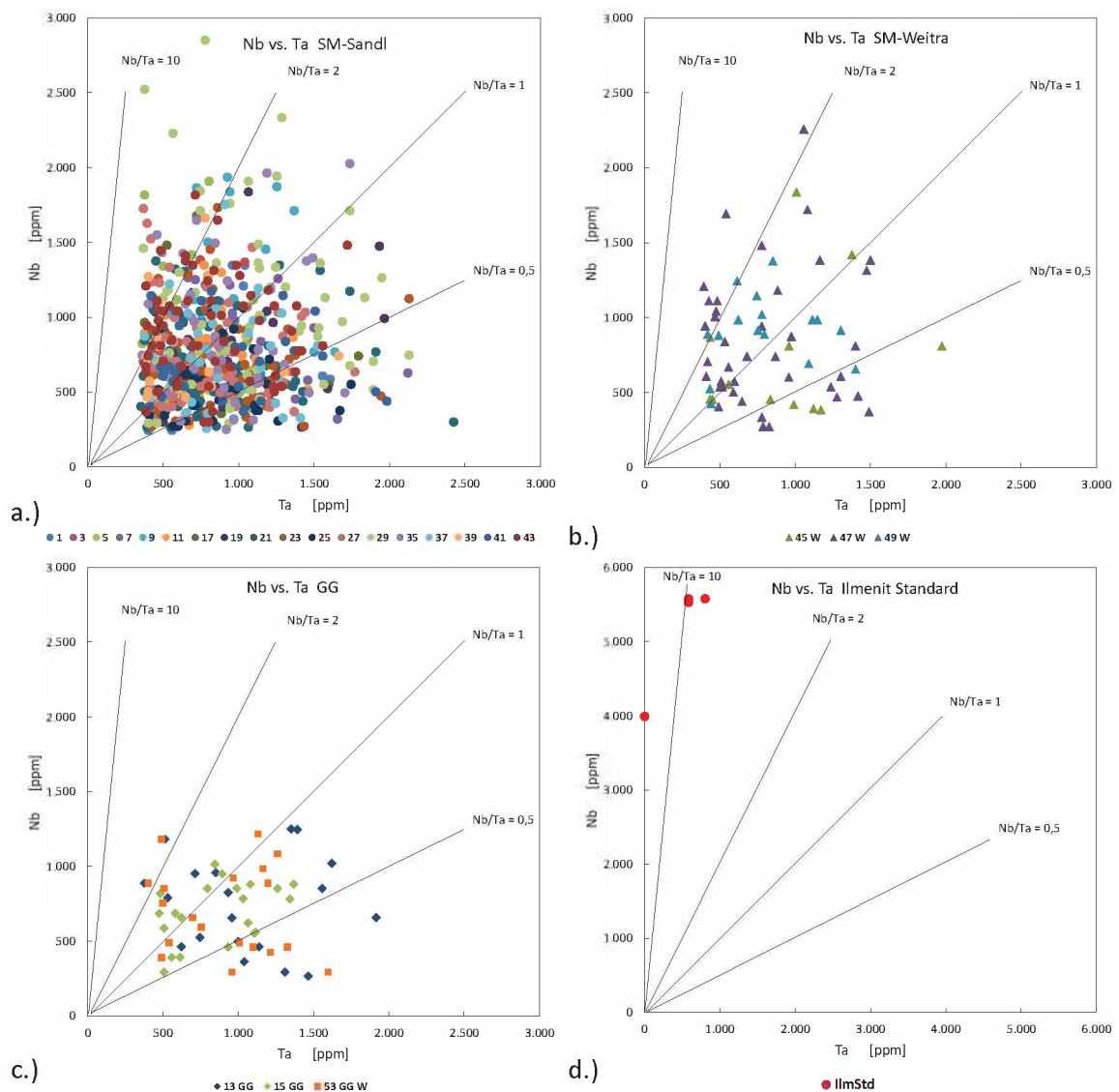


Abb. 39 a-d: Nb gegen Ta Diagramme mit Nb/Ta-Verhältnissen (Linien). Dargestellt sind nur Analysen für die sowohl die Nb als auch die Ta-Werte über der Nachweisgrenze liegen (siehe Tab. 5).

- a.) SM-Werte aus Sandl (zwei Werte wurden nicht dargestellt),
- b.) SM-Werte aus Weitra,
- c.) GG-Werte aus Sandl und Weitra (W),
- d.) Ilmenit Standard (beachte unterschiedliche Achsenmaxima).

4.3.6 Histogramme zu Elementverteilungen im Ilmenit

Um die Variationsbreiten der analysierten Elemente in Ilmenit besser interpretieren und veranschaulichen zu können, wurden Histogramme erstellt.

Die teilweise starke Streuung der y_{Fe} -Werte ($y_{\text{Fe}} = \text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg} + \text{Zn})$) (Abb. 33 bis Abb. 35) einiger Proben ist Großteils auf die wechselnden Mangangehalte im Ilmenit zurückzuführen. Abb. 40 zeigt die Häufigkeitsverteilung von MnO-Gehalte. Ein deutliches Maximum der Werte (etwa 60 %) liegt im Bereich von 2,4 bis 3,2 Gew %, ein zweites kleineres Häufigkeitsmaximum (etwa 9 %) bei 3,8 bis 4,0 Gew%. Diese Verteilung kann als zumindest bimodale Verteilung interpretiert werden, die dadurch zustande kommt, dass Ilmenite unterschiedlicher Provenienz in dem SM-Material angereichert wurden. Die beiden Maxima dürften auf die zwei Ilmenit Population hinweisen.

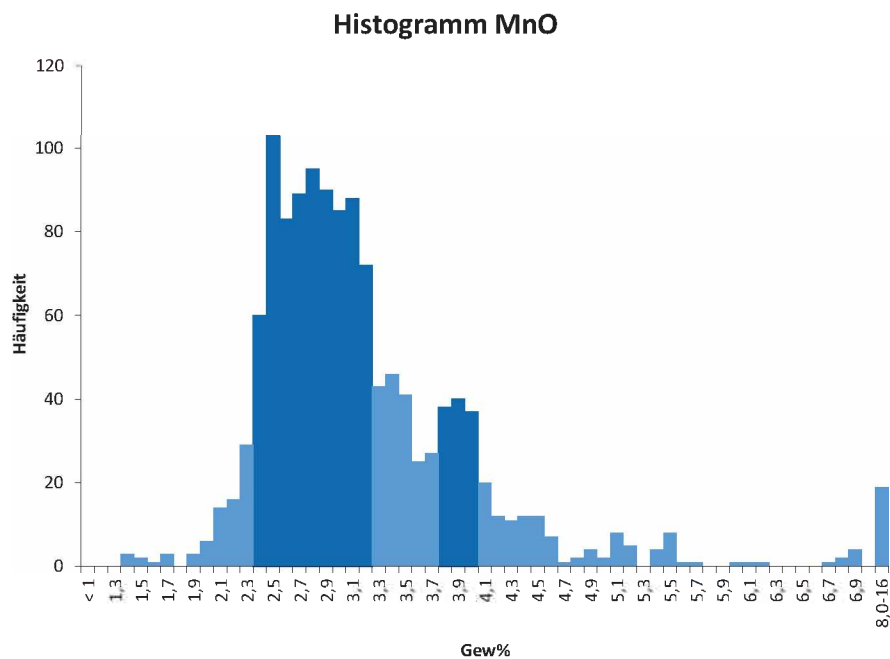


Abb. 40: Histogramm von Manganoxid, die Werte 2,4 bis 3,2 Gew% (dunkelblau) zeigen die größte Häufigkeit, 3,8 bis 4,0 Gew% (dunkelblau) bilden das zweite Häufigkeitsmaximum. In der letzten Säule wurden alle Werte von 8 bis 16 Gew% zusammengefasst, da die geringe Häufigkeit dieser Werte bei einer Skalierung von 0,1 nicht aussagekräftig ist (Anzahl der Messwerte: 1278).

Abb. 41 zeigt die Verteilung von Zinkoxid. Das asymmetrische Maximum bei den geringen Gehalten von 0,05 bis 0,13 Gew% (60 % der Messwerte) reflektiert die sehr niedrigen Konzentrationen von ZnO in Ilmenit und weist darauf hin, dass viele Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze dieses Elements liegen. Einzelne Analysen zeigen erhöhte ZnO Gehalte (1,27 Gew%) wie z.B. der alterierte Ilmenit C317 der Probe 29 (Werte siehe Datenträger im Anhang der Masterarbeit). Diese erhöhten Werte erklärt u.a. die enorme y_{Fe} Streuung einiger Proben (siehe Kapitel 4.3.4).

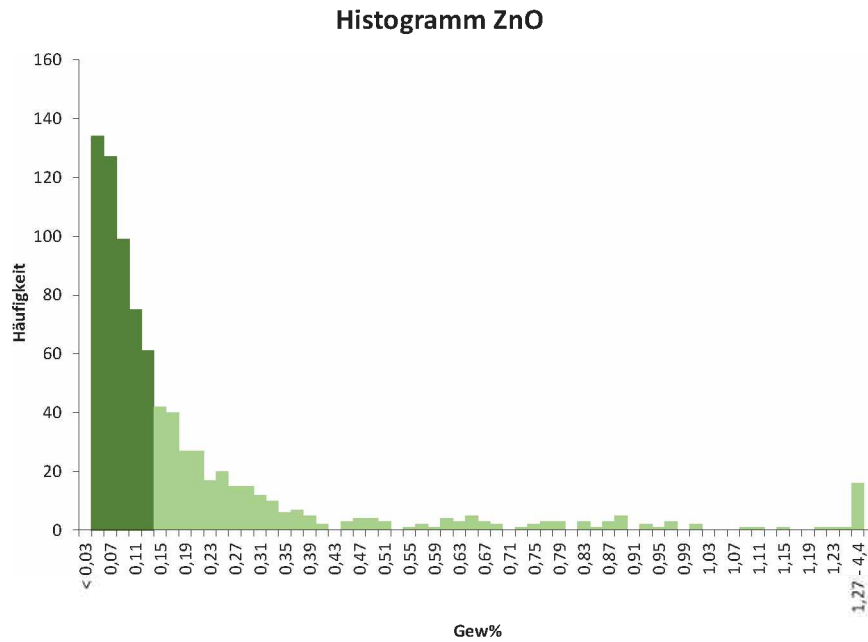


Abb. 41: Histogramm der Zinkoxid Verteilung, der Bereich von 0,05 bis 0,13 Gew% ist in dunkelgrün gehalten. (Anzahl der Messwerte: 827)

Die Verteilung der $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ Gehalte zeigt das Histogramm in Abb. 42 (detaillierte Darstellung siehe Kapitel 4.3.5). 46 % der Werte liegen im Bereich 0,25 bis einschließlich 1,00 und haben somit einen höheren Ta_2O_5 als Nb_2O_5 Gehalt. 17 % der Werte zeigen ein 2:1 Verhältnis von Nb_2O_5 zu Ta_2O_5 . Die nicht lineare Verteilung lässt zumindest zwei Maxima erkennen. Diese können als zwei unterschiedliche Populationen von Ilmenit interpretiert werden.

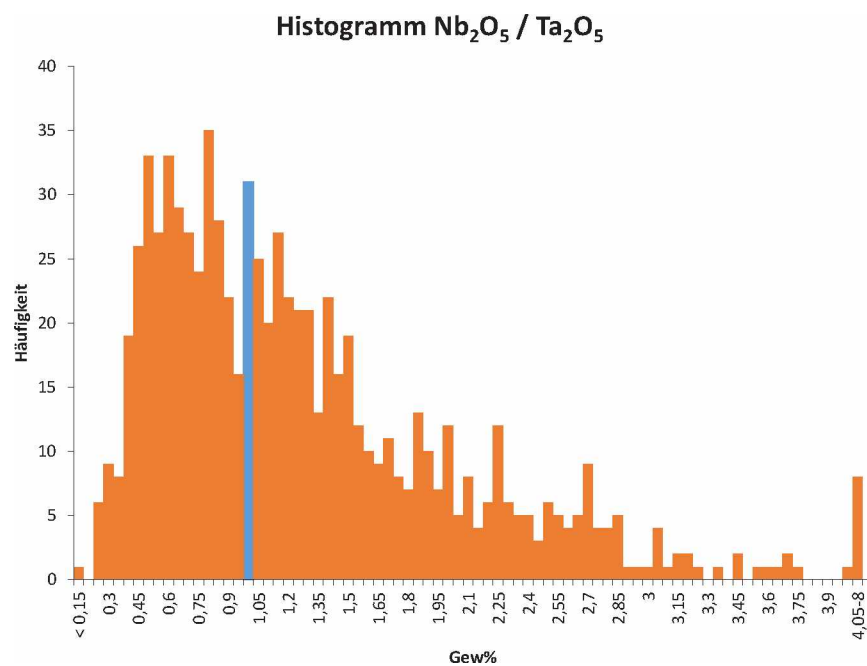


Abb. 42: Histogramm des Nioboxid zu Tantaloxid Verhältnisses, der blaue Balken markiert das 1:1 Verhältnis. (Anzahl der Messwerte: 806)

Abb. 43 und Abb. 44 zeigen die Konzentrations-Verteilung von Nb_2O_5 und Ta_2O_5 . Während Nb_2O_5 eine annähernde lineare Verteilung zeigt, scheinen bei der Ta_2O_5 Verteilung mehrere Maxima vorzuliegen.

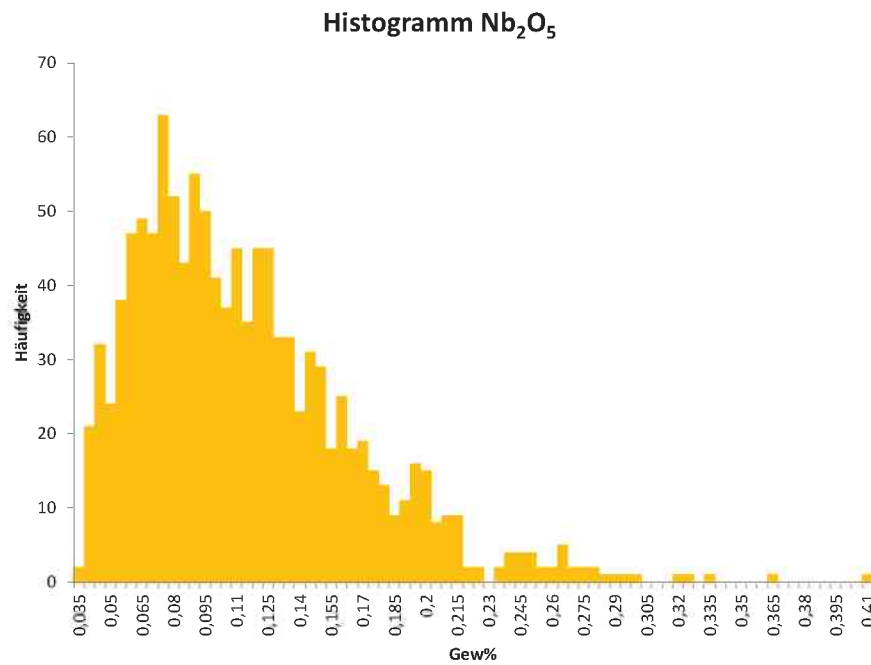


Abb. 43: Histogramm Nb_2O_5 n=1147

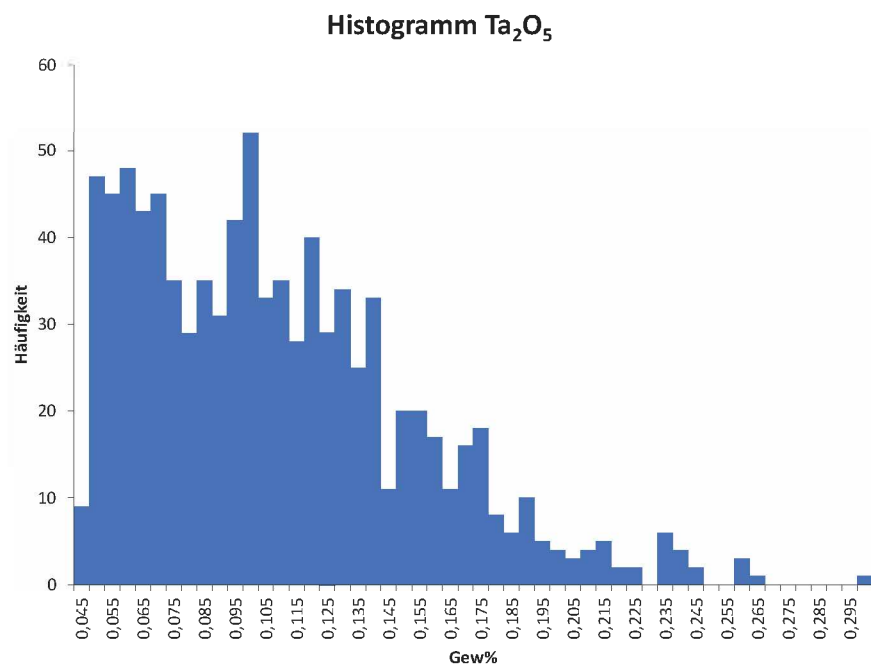


Abb. 44: Histogramm Ta_2O_5 n=894

4.4 Geochemie

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse der an den Schwermineralkonzentraten (SM) und Feinfraktion (SF) bei ACME Analytical Laboratories Ltd. in Kanada durchgeführten geochemischen Analysen. Die kompletten Originaldaten sind im Appendix angeführt sowie als Excel-Datei auf der DVD enthalten.

4.4.1 Hauptelemente

Die Tab. 11 liefert einen Überblick der analysierten Hauptelemente, unterteilt in Probenart und Probenahmegebiet. Die Werte für SiO₂ und Al₂O₃ zeigen eine starke Abreicherung in den SM-Proben um das 8 bzw. 6fache gegenüber den SF-Proben. Na₂O und K₂O werden um den Faktor 42 bzw. 16 abgereichert. Fe₂O₃, TiO₂ und MnO werden hingegen in den SM-Proben im Vergleich zu SF stark angereichert und zwar um den Faktor 10, 24 und 18. P₂O₅ und Cr₂O₃ erfahren ebenfalls eine Anreicherung (6 bzw. 2fache). Dies kann durch die Abtrennung der gesteinsbildenden Silikate geringerer Dichte (z.B. Feldspäte, Quarz, Glimmer) und der damit einhergehenden Anreicherung von Schwermineralen wie Ilmenit etc. beim Waschen schlüssig erklärt werden.

Tab. 11: Mittelwerte in Gew% der analysierten Hauptelemente eingeteilt in Probeart und Gebiet, W=Weitra, S=Sandl, GG=Granitgrus. *n* Anzahl der Proben

Art d. Probe:	SF	SM	GG	SF	SM	GG
Gebiet:	S	S	S	W	W	W
[Gew%] n:	18	18	2	3	3	1
SiO ₂	61,86	7,75	5,51	61,03	6,88	7,11
Al ₂ O ₃	16,66	2,82	1,44	17,32	1,51	2,53
Fe ₂ O ₃	3,53	36,22	9,66	3,61	34,42	9,66
MgO	0,58	0,46	0,32	0,81	0,21	0,78
CaO	2,71	3,84	34,52	3,41	5,84	37,18
Na ₂ O	3,43	0,08	0,12	3,86	0,10	0,14
K ₂ O	2,98	0,19	0,44	2,52	0,13	0,98
TiO ₂	1,75	41,51	9,19	1,00	38,08	6,28
P ₂ O ₅	0,57	3,34	29,19	0,63	5,42	28,72
MnO	0,14	2,54	0,63	0,08	2,24	0,34
Cr ₂ O ₃	0,004	0,007	0,008	0,003	0,010	0,007

Zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Proben untereinander wurden einige Elemente grafisch dargestellt. Abb. 45 zeigt die Hauptelemente Titan, Eisen, Mangan und Phosphor in Oxidform. Um SM und SF besser vergleichen zu können werden in diesem Diagramm beide

Probenarten nebeneinander geplottet. Die SF-Proben werden als vertikale Balken ausgewiesen, deren Werte an der linken Ordinate abzulesen sind. Die SM-Werte sind als Linien mit Datenpunkten ersichtlich deren Skala auf der rechten Ordinate dargestellt ist.

Die erste Datenreihe stellt die Werte aus Sandl dar, die zweite jene aus Weitra, die Granitgrus-Proben sind im dritten Datensatz enthalten.

Die TiO_2 Werte der SF-Proben von Sandl liegen im Bereich von 1,8 Gew% jene von Weitra bei 1,0 Gew%, die Proben 2, 26 und 42 liegen deutlich über dem Durchschnitt, die Gehalte von Fe_2O_3 liegen in beiden Gebieten bei etwa 3,5 Gew% mit einer etwas größeren Variationsbreite. P_2O_5 und MnO zeigen durchschnittliche Gehalte von 0,6 und 0,1 Gew% mit geringer Streuung.

Die SM-Proben zeigen generell wesentlich höhere Konzentration als SF (Abb. 45). Die Gehalte für TiO_2 liegen in Sandl bei einem Durchschnitt von 42 Gew%, lediglich die Probe 9 mit 18 und die Probe 43 mit 49 Gew% zeigen eine größere Abweichung. In Weitra liegen die durchschnittlichen Konzentrationen bei 38 Gew%, mit einem Minimalwert von 29 Gew% der Probe 49. Die Granitgrus-Proben besitzen mit Gehalten von 6 bis 10 Gew% TiO_2 deutlich geringere Konzentrationen.

Die Werte von Fe_2O_3 liegen im Bereich von 27 (Probe 9) und 39 Gew% (Probe 35) mit einem Durchschnitt von 36 Gew% für Sandl und zwischen 27 und 42 Gew% für Weitra. Die Werte der Granitgruse sind zwischen 8 und 12 Gew%. Eine klare Korrelation der Gehalte von TiO_2 und Fe_2O_3 ist in Sandl nicht festzustellen.

Die P_2O_5 Gehalte liegen im Durchschnitt bei 3,6 Gew% mit einem Ausreißer von 10 Gew% der Probe 49. Die Granitgruse zeigen hier auffallend höhere Werte von 29 Gew% P_2O_5 . Die MnO-Gehalte von Sandl variieren zwischen 1,5 (Probe 9) und 3,2 Gew% (Probe 11 und 27) mit einem Durchschnitt von 2,5 bzw. 2,2 Gew% für Weitra.

Um die relative Änderung der Elementkonzentrationen der SF- und SM-Proben besser zu veranschaulichen, wird in Abb. 46 die in den SM-Konzentraten stattgefundenene Anreicherung dargestellt (Anreicherungsfaktor = Konzentration SM dividiert durch Konzentration SF). Der Anreicherungsfaktor von TiO_2 liegt durchschnittlich bei dem 28 resp. 43 fachen für die Gebiete Sandl resp. Weitra. Er ist deutlich höher in den Proben 11 und 45. Die Werte von MnO korrelieren gut mit jenen von TiO_2 und zeigen Anreicherungsfaktoren des 21 bzw. 29fachen, mit denselben Ausnahmewerte wie für TiO_2 . Die Änderungen von Fe_2O_3 betragen das 11fache, jene für P_2O_5 das 6 bzw. 8fache.

Die „Anreicherung“ wird von den SF-Proben kontrolliert, da vorallem diese Proben eine variable Elementkonzentration aufweisen. Verursacht wird dies durch den Probenahmeeffekt (z.B. unterschiedlicher Feinanteil bzw. Schwermineralanteil), welcher zu recht „heterogenen“ Ergebnissen führt. Daher wird die SM-Beprobung bevorzugt, weil einerseits dadurch höhere

Konzentrationen erreicht werden und damit leichter detektierbar sind. Andererseits wird der Effekt der Probenahme als geringer eingeschätzt.

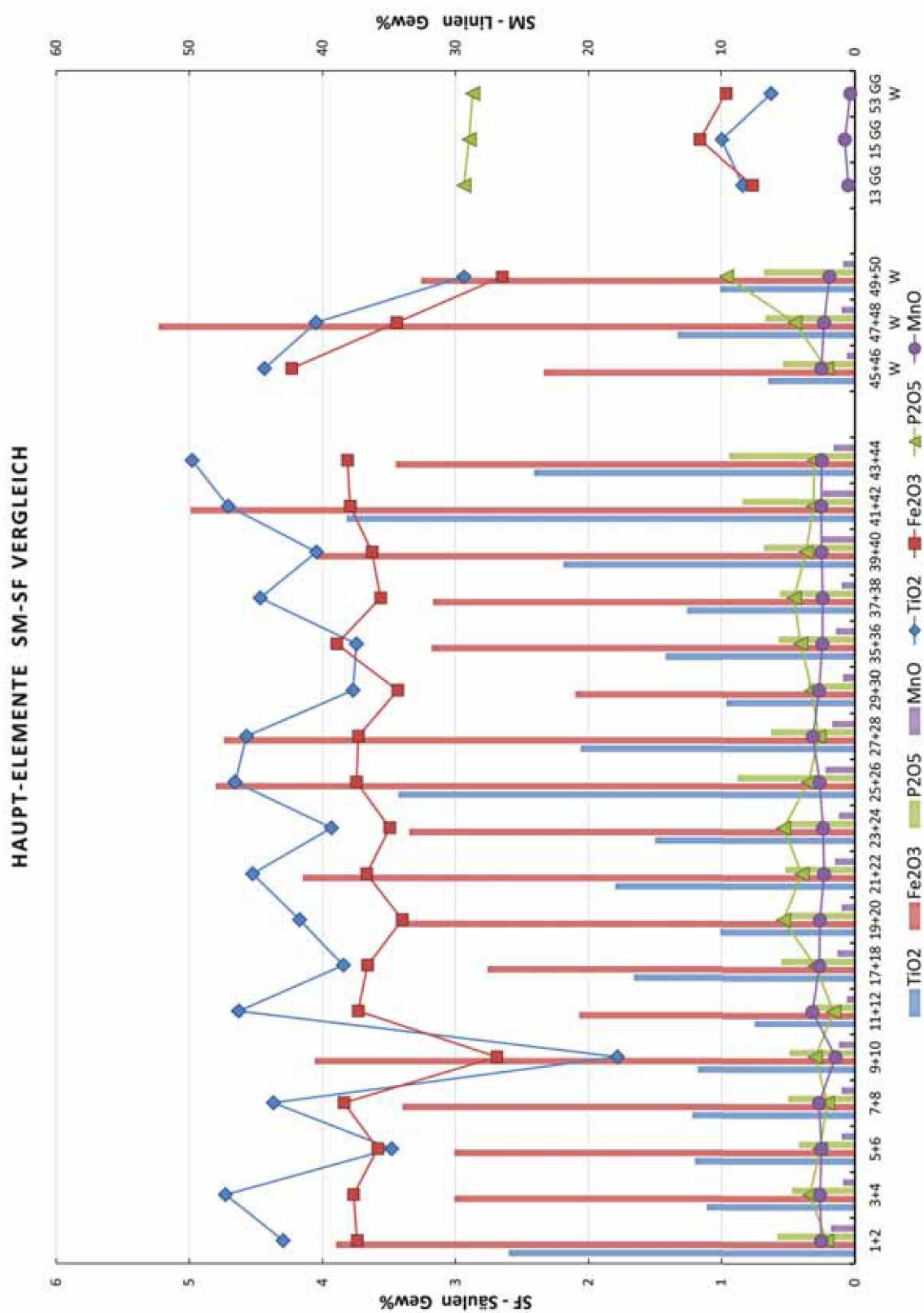


Abb. 45: Konzentration der Hauptelemente Ti, Fe, P und Mn (in Oxid%) in SF- und SM-Proben. Die SF-Analysen werden durch Säulen dargestellt, deren Werte an der linken Ordinate abgelesen werden. Die mit

Linien verbundenen Punkte zeigt die Gehalte der SM-Proben an, abzulesen auf der rechten Ordinate. (Suffix: GG=Granitgrus, W=Weitra)

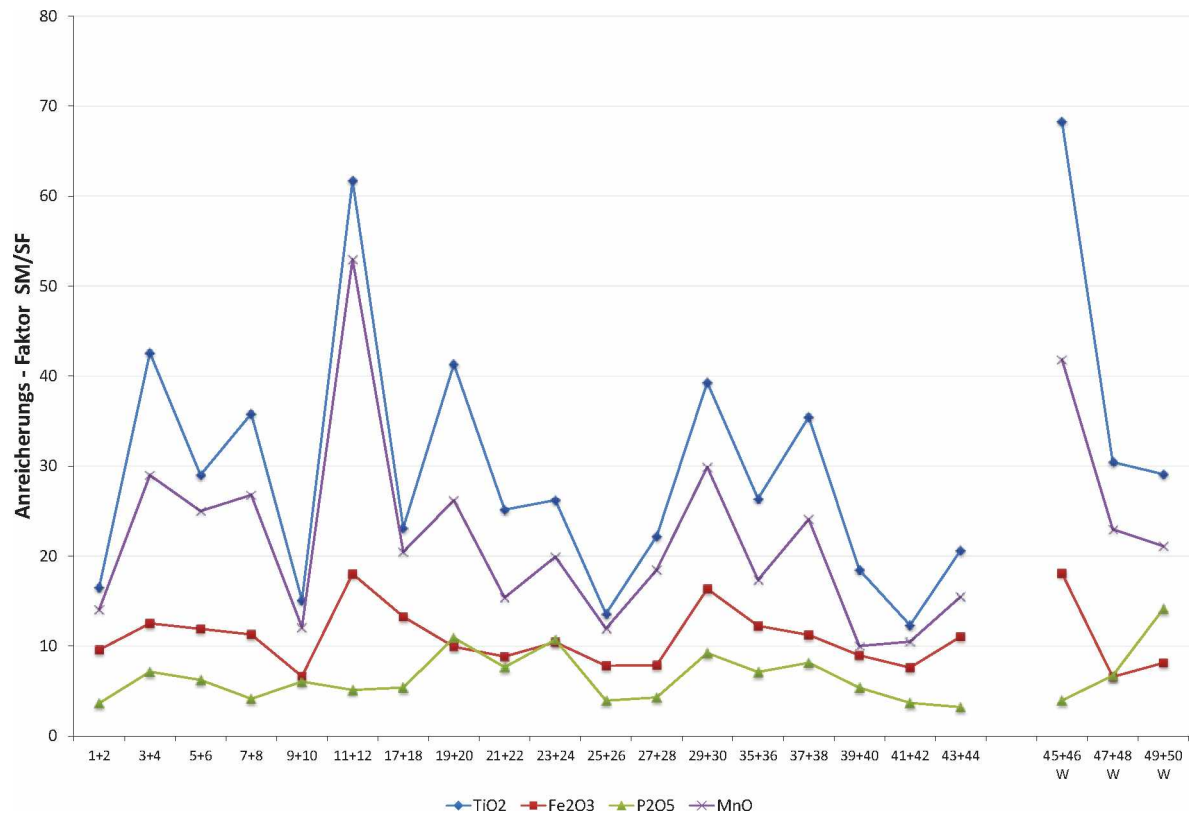


Abb. 46: Anreicherungs-faktor der Elemente Ti, Fe, P und Mn (berechnet auf Basis der Oxid%) in SM-Proben im Vergleich zu den SF-Proben (links Sandl, rechts Weitra; Suffix: W=Weitra).

4.4.2 Niob Tantal

Die Konzentrationen von Niob und Tantal sowohl der SM- und SF- als auch der GG- Proben sowie das Nb/Ta Verhältnis sind der Tab. 12 zu entnehmen. Diese Werte sind auch grafisch in Abb. 47 aufbereitet. Die SF-Proben werden wieder als Balken dargestellt und sind an der linken Ordinate abzulesen, die Punktdarstellung zeigt die SM-Proben mit der Skalierung an der rechten Ordinate.

Tab. 12: Analysenwerte von Niob und Tantal nach Probeart und Probe getrennt, sowie das Nb/Ta Verhältnis.

Proben SM+SF	SM			SF		
	Nb ppm	Ta ppm	Nb/Ta	Nb ppm	Ta ppm	Nb/Ta
1+2	688,7	77,7	8,9	43,3	4,0	10,8
3+4	579,8	50,8	11,4	16,3	1,4	11,6
5+6	641,5	66,1	9,7	24,0	2,4	10,0
7+8	726,7	82,3	8,8	24,6	2,3	10,7
9+10	444,7	40,9	10,9	25,4	2,2	11,5
11+12	705,0	85,5	8,2	17,1	1,7	10,1
17+18	577,7	66,5	8,7	31,0	4,0	7,8
19+20	603,6	63,6	9,5	22,5	2,3	9,8
21+22	572,7	54,9	10,4	27,6	2,4	11,5
23+24	513,1	46,6	11,0	22,6	2,1	10,8
25+26	560,6	47,8	11,7	45,4	3,5	13,0
27+28	642,5	69,0	9,3	35,6	3,2	11,1
29+30	759,6	105,5	7,2	21,9	3,2	6,8
35+36	687,9	77,7	8,9	26,4	2,9	9,1
37+38	600,0	51,2	11,7	20,9	1,7	12,3
39+40	612,8	68,8	8,9	36,6	3,6	10,2
41+42	571,7	53,5	10,7	48,9	4,3	11,4
43+44	698,8	59,7	11,7	33,6	3,2	10,5
45+46 W	771,7	90,2	8,6	11,1	0,9	12,3
47+48 W	648,4	78,6	8,2	22,9	1,8	12,7
49+50 W	420,8	56,7	7,4	15,2	1,8	8,4
13 GG	121,9	7,9	15,4	-	-	-
15 GG	173,3	16,8	10,3	-	-	-
53 GG W	98,3	10,0	9,8	-	-	-

Die Niobwerte von SF variieren zwischen 16 und 49 ppm bzw. 11 und 23 ppm für Sandl bzw. Weitra, der Durchschnittsgehalt ist 29 bzw. 16 ppm. Der Mittelwert für Tantal beträgt 3 ppm für Sandl und 1,5 ppm für Weitra, mit einer Variationsbreite von 1,4 bis 4,3 ppm bzw. 0,9 bis 1,8 ppm.

Die durchschnittliche Konzentration von Niob in SM-Proben beträgt je Probenahmegebiet 620 und 614 ppm. Mit 445 bzw. 760 ppm weisen die Proben 9 bzw. 29 die niedrigsten bzw. höchsten Werte in Sandl auf. In Weitra sind dies die Probe 49 mit 421 ppm und die Probe 45 mit 772 ppm. Die Granitgruse weisen Gehalte von 98 bis 122 ppm auf und sind damit markant niedriger als die Schwermineralkonzentrate der Bachsedimente. Die SM-Durchschnittswerte für Tantal liegen bei 65 resp. 75 ppm und variieren im Bereich von 41 bis 106 ppm (Probe 9 bzw. 29) resp. 57 bis 90 ppm

(Probe 49 bzw. 45) für Sandl resp. Weitra. Die GG-Konzentrationen zeigen Werte von 8 bis 17 ppm Ta.

Der Anreicherungsfaktor von SM- zu SF-Proben für Nb und Ta ist in Abb. 48 ersichtlich. Die Faktoren beider Elemente zeigen eine deutliche Korrelation mit geringer Abweichung der zwei Probenpaare 11+12 und 7+8 in Sandl, sowie einer größeren der beiden Probenpaare 45+46 und 47+48 aus Weitra. Der durchschnittliche Anreicherungsfaktor der Sandl-Proben liegt beim 24 bzw. 25fachen für Nb bzw. Ta mit Maximalwerten des 41 bzw. 50fachen für Nb bzw. Ta (Vergleichsproben 11+12). Die Weitra-Probe 45+46 zeigt mit dem 70 bzw 100fachen den höchsten Anreicherungsfaktor aller analysierten Proben. Die übrigen zwei Probenpaare zeigen eine ebenfalls stärkere Anreicherung und eine etwas größere elementspezifische Diskrepanz.

In Abb. 49 ist das Nb/Ta Verhältnis der Proben nach Art der Probe und Lokalität getrennt in einer Darstellung abgebildet. Die Mittelwerte der Sandl Proben sind für SM und SF mit 9,9 bzw. 10,5 sehr ähnlich, ebenso die Variation von 7,2 bis 11,7 bzw. 6,8 bis 13,0. Die geringsten Werte für SM zeigen die Proben 29 und 11 für SF sind dies die Proben 30 und 18. Das Verhältnis mit den größten Werten weisen die SM-Proben 3, 25, 37 und 43 auf sowie die SF-Proben 26 und 38. Eine Korrelation dieser beiden Probenarten kann bis zu einem gewissen Grad festgestellt werden. So weist das Probenpaar 29+30 die geringsten Werte und 37+38 und 25+26 die höchsten gemeinsamen Werte auf, weiters korrelieren die Probenpaare 3+4, 5+6, 9+10, 19+20, 23+24 und 35+36.

Die Werte in Weitra variieren wesentlich stärker sie liegen im Bereich von 7,4 bis 8,6 für SM bzw. 8,4 bis 12,7 für SF, lediglich die Probenpaare 49+50 zeigen eine minimale Korrelation.

Mit einem Verhältniswert von 15,4 liegt die GG-Probe 13 nahe am chondritischen Wert von 17,6, die beiden anderen GG-Proben liegen mit ~10 darunter.

Abb. 47: Niob- und Tantalkonzentrationen der SM-, SF- und GG-Proben. Die SF-Analysen werden durch Säulen dargestellt, deren Werte an der linken Ordinate abgelesen werden. Die Punktdarstellung zeigt die Gehalte der SM- und GG-Proben an, abzulesen auf der rechten Ordinate. (Datensätze: links=Sandl, Mitte rechts=Weitra, rechts=GG; Suffix: GG=Granitgrus, W=Weitra)

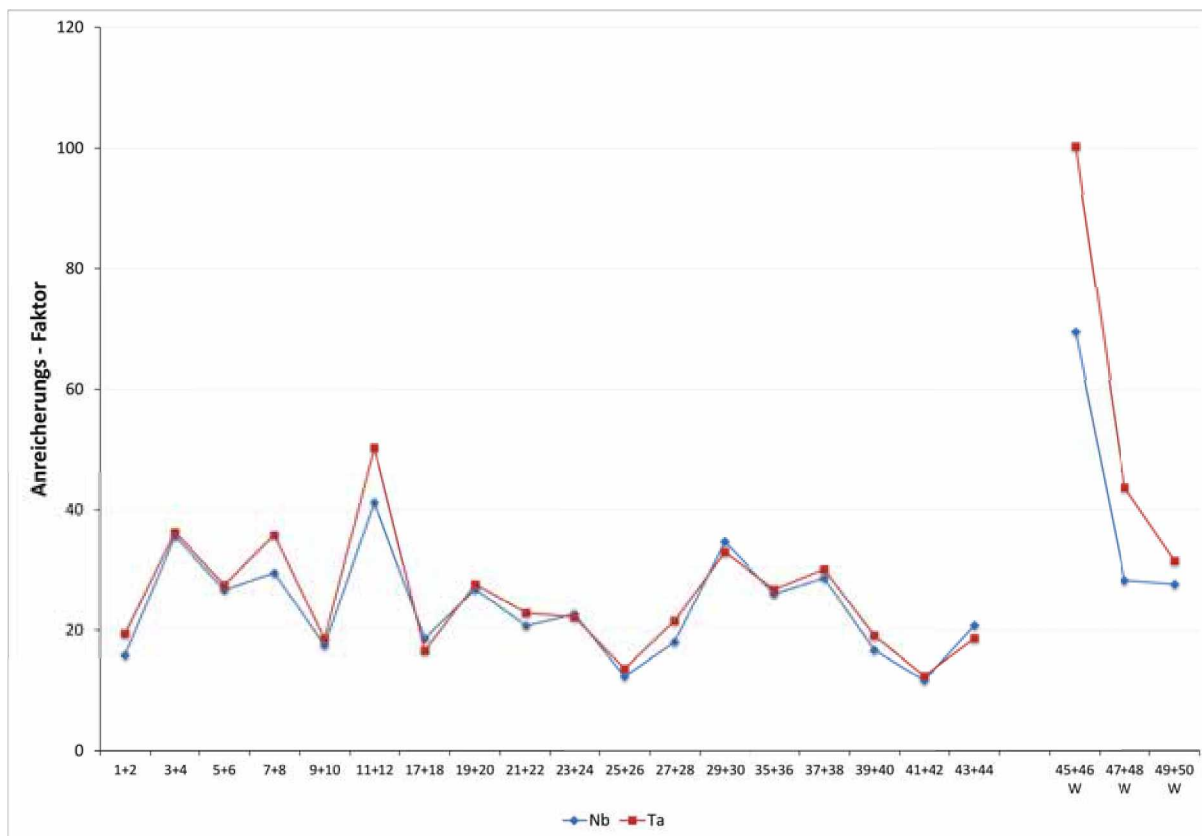


Abb. 48: Anreicherungs-faktor der SM-Proben für Niob und Tantal gegenüber den SF-Proben. (Datensätze: links=Sandl, rechts=Weittra; Suffix: W=Weittra)

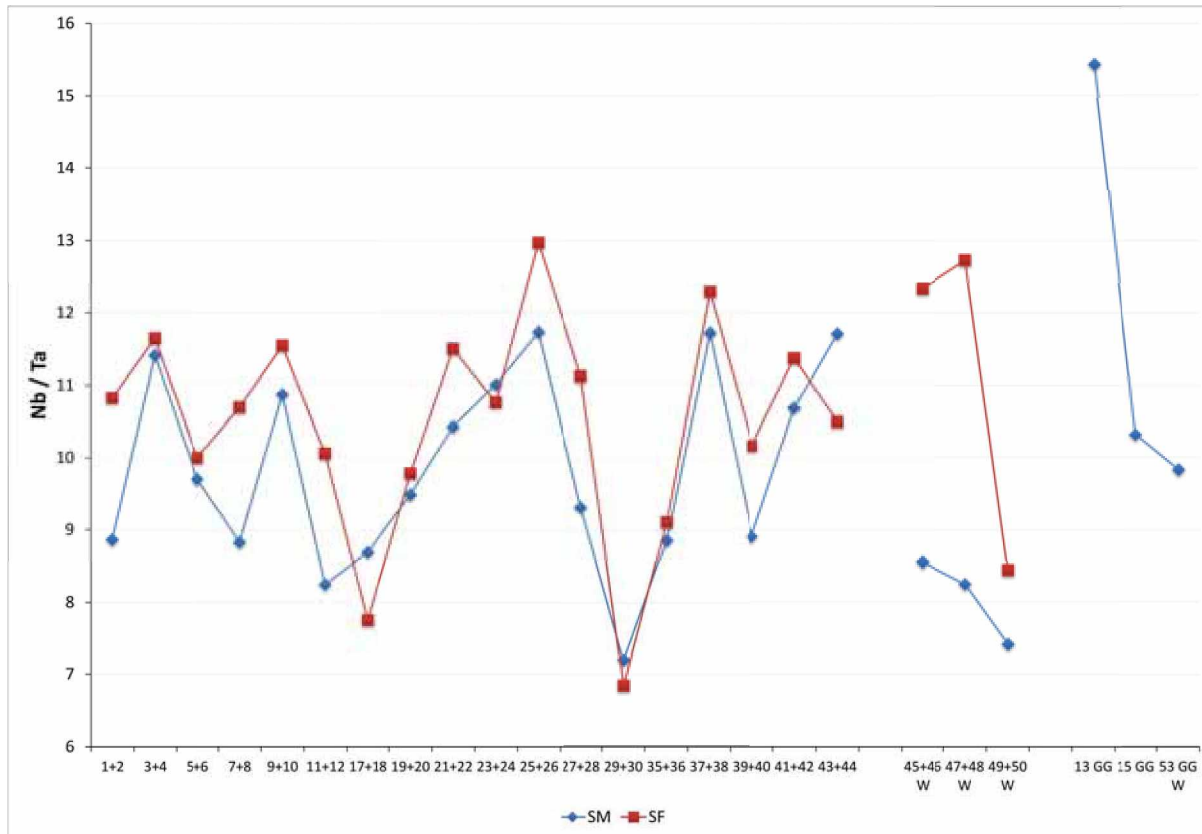


Abb. 49: Nb zu Ta Verhältnis von SM-, und SF-Proben. (Datensätze: links=Sandl, Mitte rechts=Weittra, rechts=GG; Suffix: GG=Granitgrus, W=Weittra)

4.4.3 Seltenerdelemente

Die Verteilung der Seltenerdelemente (SEE, engl.: Rare Earth Elements REE) unterscheidet sich nach Probenart erheblich. Während SF-Proben eine relative Homogenität aufweisen, lassen die SM-Proben eine deutliche Variationsbreite erkennen. Die grafische Darstellung der SEE-Gehalte in den Abb. 50 bis Abb. 54 erfolgt logarithmisch und auf Chondritwerte (Wasson & Kallemeyn, 1988) normiert.

Anhand der folgenden zwei Parameter kann eine SEE-Kurve auch numerisch quantifiziert und beschrieben werden. Einerseits das Eu/Eu^* Verhältnis als Maß für die Größe der Europium-Anomalie. Die N-Werte stellen die normalisierten Werte dar:

$$\frac{Eu}{Eu^*} = \frac{Eu_N}{\frac{1}{2} (Sm_N + Gd_N)}$$

Und andererseits als Indikator der Schiefe des SEE-Musters das Verhältnis von LREE zu HREE ausgedrückt in der Form:

$$\frac{La_N}{Yb_N}$$

Die nicht normierten SEE-Werte der SF-Proben in Tab. 13 sind graphisch für das Gebiet Sandl in Abb. 50 und für den Raum Weitra in Abb. 51 dargestellt. Die Proben beider Gebiete zeigen vergleichbare SEE-Verteilungsmuster. Einer LREE-Anreicherung (leichte SEE) steht eine negative Europium-Anomalie ($Eu/Eu^* = 0,06 - 0,30$) und eine geringere HREE-Anreicherung (schwere SEE, $La_N/Yb_N = 4,2 - 1,3$) gegenüber.

Tab. 13: Ergebnisse der SEE-Analysen (nicht normiert) für SF einschließlich deren Summe, zwei numerische Parameter (Eu/Eu*, La_N/Yb_N) sowie die Mittelwerte für Sandl und Weitra.

SF	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ SEE	Eu/Eu*	La _N /Yb _N
Sandl/Weitra	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
SF PL013002	351,2	785,3	93,96	364,3	72,40	1,86	65,12	10,34	65,70	13,89	41,68	6,42	39,17	5,51	1917	0,08	6,0
SF PL013004	182,3	397,2	45,51	176,6	33,56	1,79	28,21	4,18	24,16	4,79	14,66	2,19	13,80	2,03	931	0,17	8,9
SF PL013006	202,1	435,4	52,21	201,2	40,30	1,48	36,78	5,76	32,77	6,49	18,53	2,85	17,96	2,50	1056	0,12	7,6
SF PL013008	170,6	384,4	44,47	171,5	33,99	1,77	29,69	4,66	26,88	5,54	16,31	2,42	15,03	2,12	909	0,17	7,6
SF PL013010	108,0	233,8	28,20	108,9	22,66	2,13	20,50	3,29	20,33	4,60	13,38	2,04	12,86	1,83	583	0,30	5,7
SF PL013012	76,7	150,7	18,77	69,0	12,31	1,12	9,90	1,32	6,30	1,18	3,36	0,53	3,58	0,51	355	0,30	14,4
SF PL013018	212,9	442,6	55,92	213,1	42,49	1,42	38,85	5,99	36,93	8,12	24,13	3,78	24,51	3,43	1114	0,11	5,9
SF PL013020	138,2	301,5	35,50	136,8	26,89	1,31	22,19	3,19	16,92	3,34	9,45	1,37	8,24	1,28	706	0,16	11,3
SF PL013022	273,1	592,6	71,06	276,1	54,11	2,09	47,01	7,16	42,22	9,05	28,37	4,30	27,87	4,03	1439	0,12	6,6
SF PL013024	246,9	561,3	65,53	249,8	48,71	1,85	42,07	6,73	41,48	8,83	26,93	4,10	26,22	3,74	1334	0,12	6,3
SF PL013026	710,5	1546,0	185,54	718,0	137,73	2,71	121,25	18,97	117,66	26,89	84,97	13,42	84,63	12,53	3781	0,06	5,7
SF PL013028	294,5	638,5	74,99	298,4	57,58	1,87	52,39	8,52	53,23	11,58	33,84	5,17	33,32	4,71	1569	0,10	6,0
SF PL013030	220,6	517,4	59,81	223,7	44,88	0,97	37,02	5,54	30,79	5,67	16,25	2,26	13,74	2,00	1181	0,07	10,8
SF PL013036	256,6	572,8	66,53	259,8	51,55	1,56	43,91	6,86	40,69	8,00	23,41	3,49	22,59	3,10	1361	0,10	7,7
SF PL013038	226,0	491,1	58,26	222,9	43,63	1,76	37,08	5,64	32,69	6,71	21,52	3,15	20,54	2,90	1174	0,13	7,4
SF PL013040	325,0	720,8	84,92	333,7	67,75	1,71	63,37	11,31	74,13	16,73	50,88	7,69	47,53	6,88	1812	0,08	4,6
SF PL013042	623,9	1368,5	162,61	628,2	124,38	2,70	116,39	19,76	129,70	30,78	100,40	15,91	100,41	14,43	3438	0,07	4,2
SF PL013044	353,2	783,6	91,28	356,7	70,20	2,21	70,36	11,85	78,09	17,72	56,13	8,76	54,92	8,07	1963	0,10	4,3
SF PL013046	137,2	297,4	34,03	131,2	24,10	1,71	20,38	2,75	14,15	2,55	7,54	1,08	6,98	1,01	682	0,23	13,2
SF PL013048	247,7	523,8	61,45	232,5	42,60	1,83	33,92	4,41	22,50	4,20	11,42	1,59	10,23	1,59	1200	0,14	16,3
SF PL013050	163,7	351,2	40,58	155,6	28,85	1,87	23,43	3,31	17,80	3,28	9,07	1,41	9,35	1,43	811	0,21	11,8
Mittelwert																	
Gesamt	262,9	576,0	68,15	263,2	51,46	1,80	45,71	7,22	44,05	9,52	29,15	4,47	28,26	4,08	1396	0,14	8,2
Sandl	276,2	606,9	71,95	278,3	54,73	1,80	49,01	7,84	48,37	10,55	32,46	4,99	31,50	4,53	1479	0,13	7,3
Weitra	182,9	390,8	45,35	173,1	31,85	1,80	25,91	3,49	18,15	3,34	9,34	1,36	8,85	1,34	898	0,20	13,8

Alle SEE-Kurven der SF-Proben von Sandl und Weitra zeigen eine deutliche Steigung der LREE und einen eher flachen Verlauf der HREE, mit immer markanten negativen Europium-Anomalien (Abb. 50 und Abb. 51). Die größten negativen Eu-Anomalien weisen die Proben PL013026, PL013030 und PL013042 aus Sandl auf, die kleinsten PL013010 und PL013012. Die Proben aus Weitra zeigen hingegen wesentlich geringere negative Eu-Anomalien (vgl. Tab. 13). Das Verhältnis von LREE zu HREE (La_N/Yb_N) ist bei den Sandl-Proben PL013042 und PL013044 am geringsten, bei PL013012 und PL013020 ist es am größten. Die Proben aus Weitra weisen jedoch die größten Differenzen von LREE zu HREE auf.

Die Summe der SEE-Mittelwerte für Sandl liegt bei 1479 ppm. Die Proben PL013012 und PL013010 aus dem Gebiet Sandl heben sich mit den in Summe niedrigsten Werten, die Proben PL013026 und PL013042 mit den höchsten Gehalten etwas ab (Tab. 13). Proben aus Weitra zeigen hingegen mit einem Durchschnittsgehalt von 898 ppm eine niedrigere SEE-Summe als Sandl.

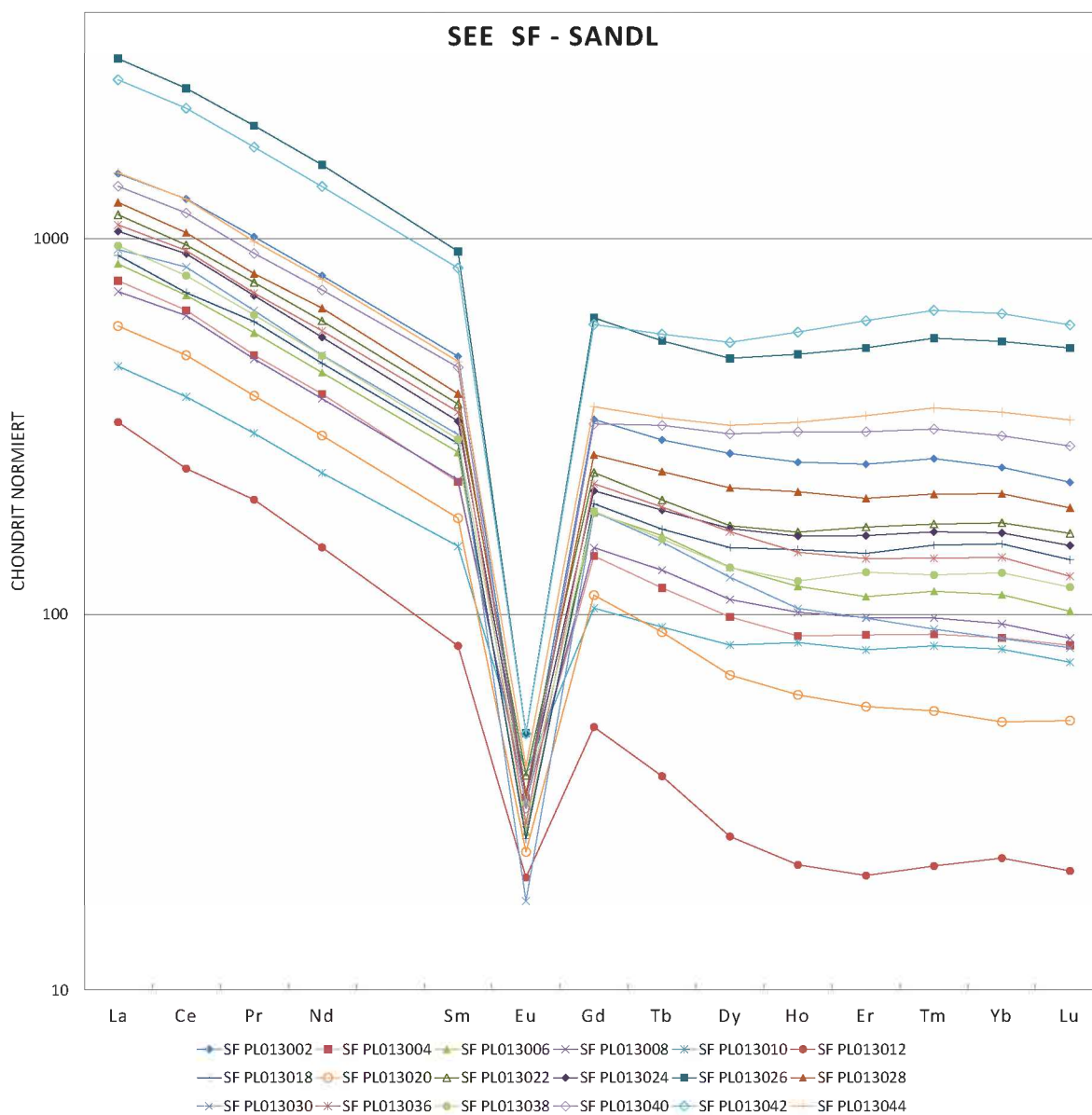


Abb. 50: Verteilung der Seltenerdelemente (SEE) in den SF-Proben aus Sandl, normiert auf Chondrit (nach Wasson & Kallemeyn, 1988).

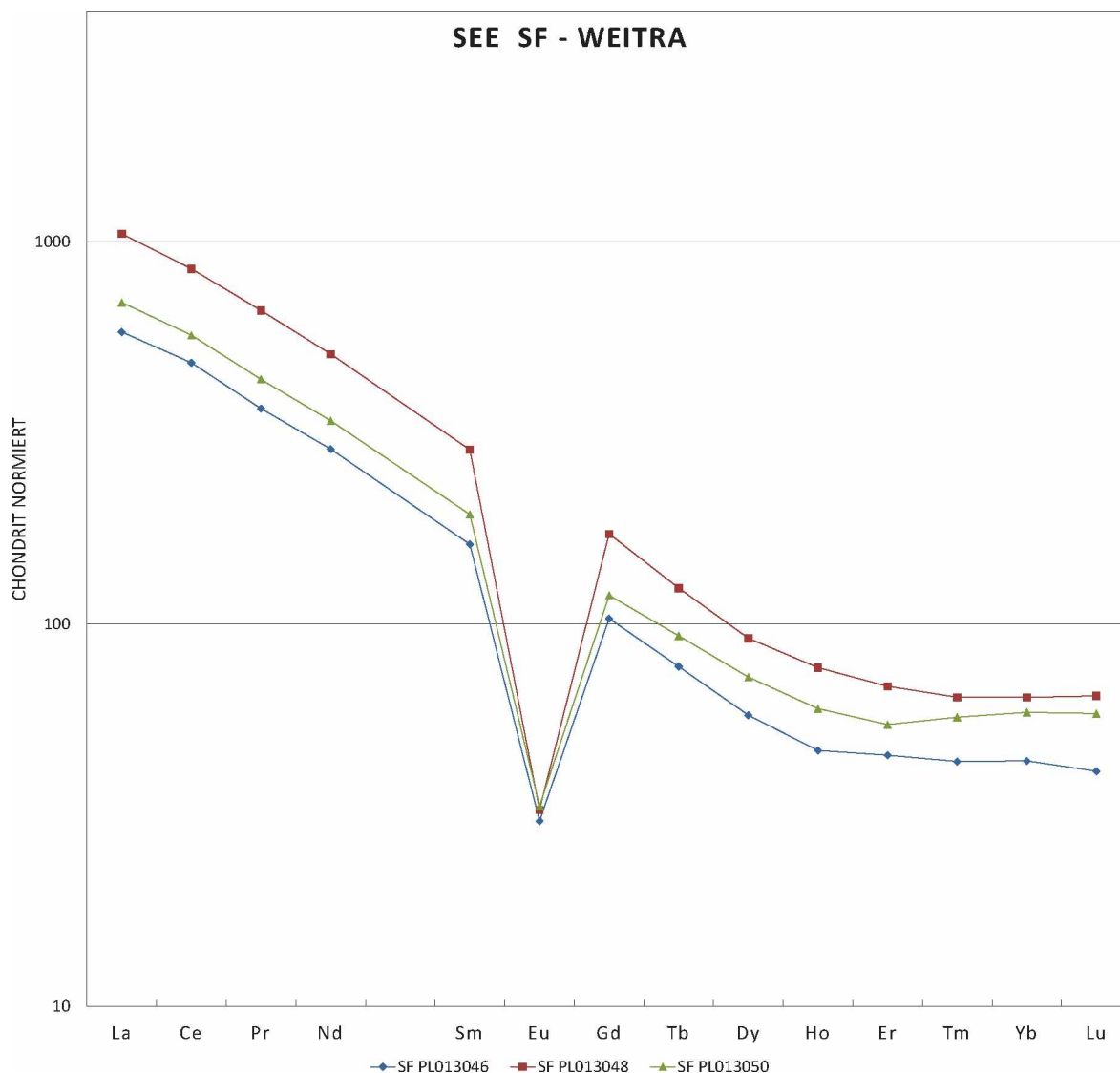


Abb. 51: Verteilung der Seltenerdelemente (SEE) in den SF-Proben aus Weittra, in logarithmischer Darstellung, normiert auf Chondrit (nach Wasson & Kallemeyn, 1988).

4.4.4 Seltenerdelemente SM und GG

Die SEE Konzentrationen und –Verteilungen SM-Proben unterscheiden sich von den SF-Proben in einigen Bereichen wesentlich. Neben einer um ein Vielfaches höheren SEE-Gesamtsumme zeigen die SM Proben auch eine deutlich ausgeprägtere Eu-Anomalie. Die tendenziell stärkere Anreicherung von HREE gegenüber LREE manifestiert sich in einem klar unterschiedlichen Verteilungsmuster im Gegensatz zu SF (Tab. 14).

Tab. 14: Daten der nicht normierten SEE-Werte für SM und GG einschließlich deren Summe sowie der numerischen Parameter Eu/Eu^* und La_N/Yb_N und die Mittelwerte für Sandl, Weitra und Granitgrus.

SM S/W/GG	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	Σ SEE ppm	Eu/Eu^*	La_N/Yb_N
PL013001	1249,9	2539	331,79	1310,8	315,93	5,06	427,27	97,86	802,57	190,97	636,39	96,75	617	87,84	8709	0,042	1,4
PL013003	1602,5	3229,6	423,06	1692,8	413,51	6,08	587,88	135,37	1124,3	281,84	964,75	151,4	966,44	140,14	11720	0,038	1,1
PL013005	1062	2225,8	295,92	1187,1	287	8,12	370,11	83,62	661,72	153,41	491,92	74,5	469,97	66,58	7438	0,076	1,5
PL013007	1209,3	2493,5	325,55	1292,6	309,98	7,01	416,8	94,08	753,76	180,93	599,36	92,77	589,28	83,81	8449	0,060	1,4
PL013009	804,7	1839,3	254,17	1052	237,72	19,24	225,9	40,32	275,21	56,65	176,87	26,17	164,48	22,99	5196	0,251	3,3
PL013011	1040,1	2041,7	253,74	954,7	178,45	4,02	175,82	31,51	225,28	51,11	167,5	25,47	163,86	23,19	5336	0,069	4,3
PL013017	1234,6	2531,7	328,39	1299,3	296,56	4,25	355,09	77,00	595,11	138,47	456,95	68,93	439,75	62,69	7889	0,040	1,9
PL013019	2161,7	4605,4	572,57	2228,1	500,64	6,72	596,13	120,84	908,3	211,55	684,29	104,13	667,52	94,72	13463	0,038	2,2
PL013021	1746,2	3467,8	453,87	1780,5	400,64	5,48	488,52	102,89	805,2	193,4	646,68	98,87	625,31	91,81	10907	0,038	1,9
PL013023	2160,9	4681,5	582,93	2312,6	522,64	6,39	642,28	135,50	1066,9	258,76	856,19	131,77	834,28	120,6	14313	0,034	1,7
PL013025	2046,1	4418,9	553,74	2204,5	542,14	7,11	749,56	173,46	1416	362,77	1252,6	196,47	1250,6	183,52	15357	0,034	1,1
PL013027	1852,6	3962,6	493,67	1922,5	423,83	5,06	488,82	100,69	746,83	175,66	567,64	86,46	543,98	78,79	11449	0,034	2,3
PL013029	1839,9	4096,8	502,94	1942,9	425,01	4,24	442,09	86,02	603,41	130,11	403,81	60,46	378,7	52,11	10969	0,030	3,3
PL013035	1564,8	3381,5	429,82	1652,9	362,86	4,23	410,57	87,28	626,66	151,25	473,42	70,28	433,25	63,72	9713	0,033	2,4
PL013037	2089,7	4540,7	561,03	2208,4	531,98	6,47	706,94	158,07	1253,6	312,34	1075,4	170,06	1090,5	159,81	14865	0,032	1,3
PL013039	1639	3381,6	440,35	1746,5	406,66	4,92	519,19	115,89	898,05	215,97	716,03	108,41	673,27	96,91	10963	0,033	1,6
PL013041	1988,2	4246	534,75	2120,3	530,33	7,01	781,9	184,24	1499,4	384,82	1339,5	209,21	1326,6	194,07	15346	0,033	1,0
PL013043	1199,9	2475,6	323,88	1340,7	402,49	5,67	708,09	185,12	1529,1	390,77	1340,9	209,58	1334,9	195,83	11642	0,032	0,6
PL013045 W	1329,8	2746,4	331,64	1243,4	230,09	3,18	217,04	36,01	223,46	49,64	161,79	25,77	169,18	26,08	6793	0,043	5,3
PL013047 W	5445,7	11243	1301,9	4879,1	859,66	9,15	697,46	93,27	511,39	98,79	307,51	45,97	302,43	45,98	25841	0,035	12,1
PL013049 W	5545,7	11407	1330,6	5083,2	945,56	11,08	841,76	127,55	774,09	162,98	535,04	85,28	566,6	89,78	27506	0,037	6,6
PL013013 GG	3838,5	8950,3	1051,4	4148,5	920,97	13,42	886,46	145,25	885,71	192,25	580,04	85,91	522,11	72,07	22293	0,045	5,0
PL013015 GG	3180,9	7322,6	922,6	3630,2	792,42	10,64	823,81	163,77	1101,7	256,86	775,16	107,94	626,07	92,26	19807	0,040	3,4
PL013053 GG	1986,3	4472,9	581,49	2388,6	552,68	7,09	495,18	78,14	396,74	72,25	195,69	27,67	166,87	27,77	11449	0,041	8,0
Mittelwert																	
Gesamt	2075,8	4429,2	549,24	2150,9	474,57	7,15	543,94	110,57	820,19	194,73	641,89	98,34	621,79	90,54	12809	0,049	3,1
Sandl	1582,9	3342,2	425,68	1680,5	393,80	6,50	505,16	111,65	877,30	213,38	713,90	110,09	698,31	101,06	10762	0,053	1,9
Weitra	4107,1	8465,3	988,06	3735,2	678,44	7,80	585,42	85,61	502,98	103,80	334,78	52,34	346,07	53,95	20047	0,038	8,0
Granitgrus	3001,9	6915,3	851,82	3389,1	755,36	10,38	735,15	129,05	794,72	173,79	516,96	73,84	438,35	64,03	17850	0,042	5,5

Abb. 52 zeigt die normierten SEE-Werte der Proben aus dem Raum Sandl. Das konkave SEE-Muster ist auf die annähernd gleichen Werte für LREE und HREE mit zum Teil deutlicher Anreicherung der HREE ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 12,1 - 0,6$) zurückzuführen. Alle Proben weisen eine markante negative Europium-Anomalie auf ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,251 - 0,030$) (Tab. 10).

Die Probe PL013043 unterscheidet sich mit einem La_N/Yb_N -Wert von 0,6 und einem somit höheren HREE- als LREE-Gehalte von allen anderen Proben. Weitere Proben mit sehr niedrigen La_N/Yb_N -Werten (1,0 – 1,5) sind PL013001, -03, -05, -07, -25, -37 und -41.

Die Probe PL013009 zeigt mit 19,24 ppm den höchsten Wert für Europium und PL013011 mit 4,02 ppm den geringsten.

Bei den SM-Proben aus dem Bereich Weitra ist eine starke Anreicherung an LREE und ein Abreicherung an HREE festzustellen (Abb. 53). Trotz wesentlich geringerer HREE-Werte im Vergleich zu den Proben aus Sandl sind die SEE-Gesamtsummen erwähnenswert. Abgesehen von der Probe PL013045 sind diese Werte doppelt bis dreimal so hoch, dies ist auf die sehr hohen LREE zurückzuführen. Die Verhältnisse von La_N/Yb_N liegen im Bereich von 5,3 – 12,1 jene der Eu-Anomalie zeigen ähnliche Werte wie die Proben aus Sandl.

In Abb. 54 sind die Proben der GG dargestellt. Sie zeigen teilweise eine starke LREE-Anreicherung und im Vergleich dazu eine geringe bis sehr geringe Anreicherung der HREE. Die Probe PL013053 (GG Weitra) weist eine regressive Konzentrationsverteilung der HREE auf, ein ähnliches Verhaltensmuster zeigen auch die Proben in Weitra. Ebenso wie die Werte für La_N/Yb_N und Eu/Eu^* . Die SEE-Gesamtgehalte sind niedriger als jene von Weitra aber deutlich höher als die aus Sandl.

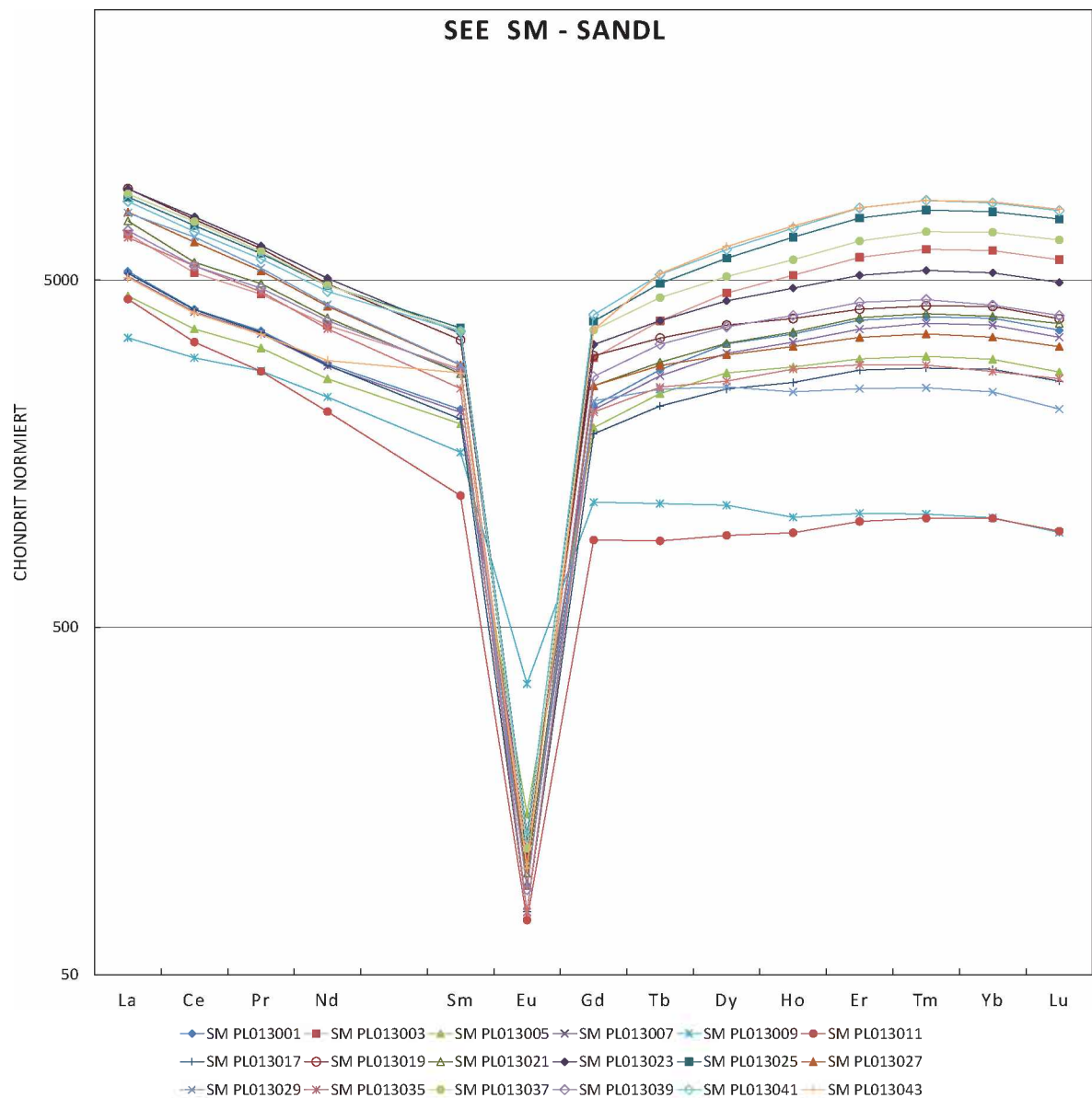


Abb. 52: Chondrit-normierte SEE-Verteilung von SM-Proben aus dem Raum Sandl mit ähnlich hohen Konzentrationen für LREE und HREE. Die Ausnahmen bildet die Probe PL013043 mit LREE < HREE.

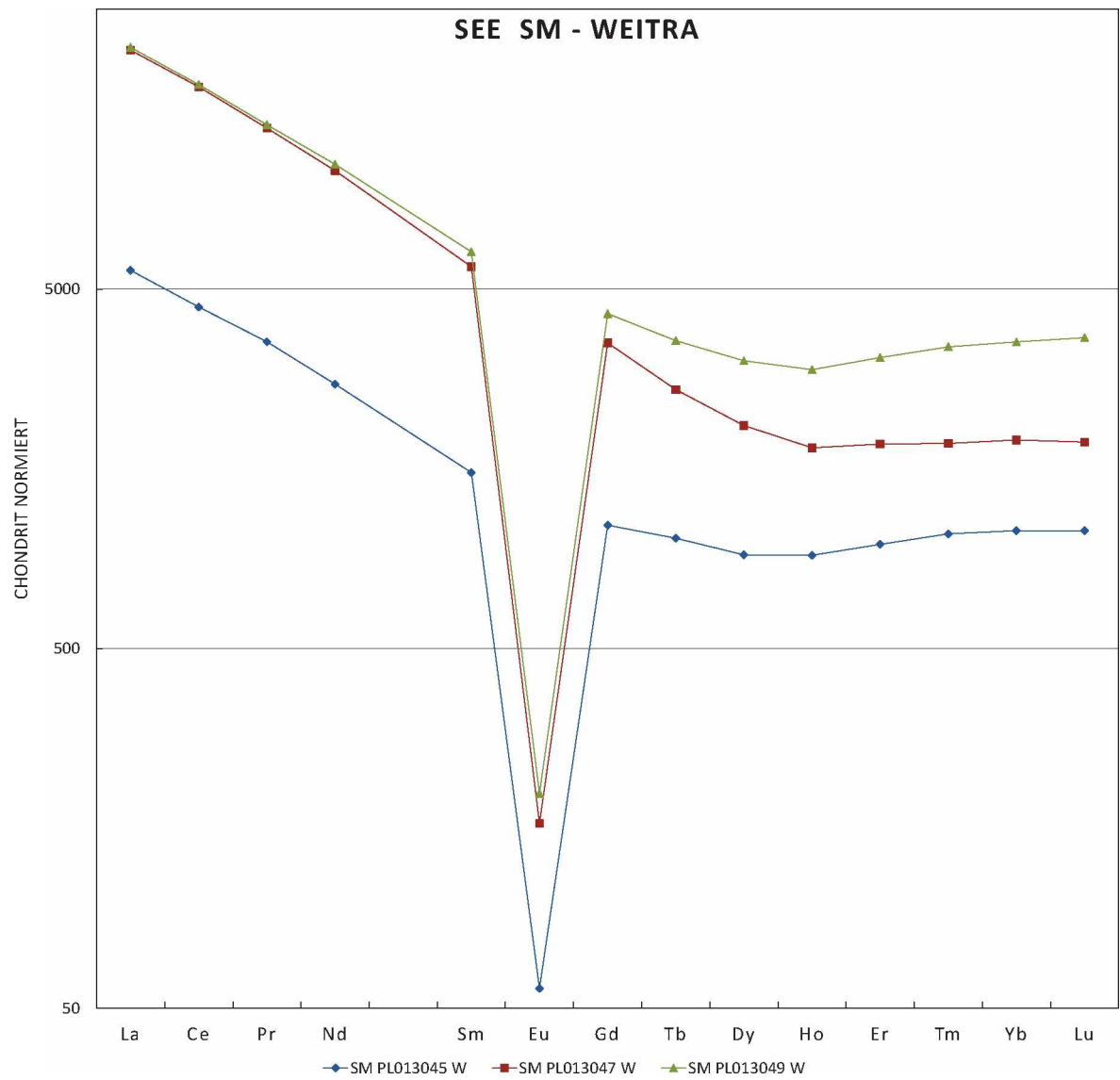


Abb. 53: SEE-Verteilung der SM-Proben aus dem Raum Weitra (LREE – HREE), in logarithmischer Darstellung, Chondrit-normiert (nach Wasson & Kallemeyn, 1988).

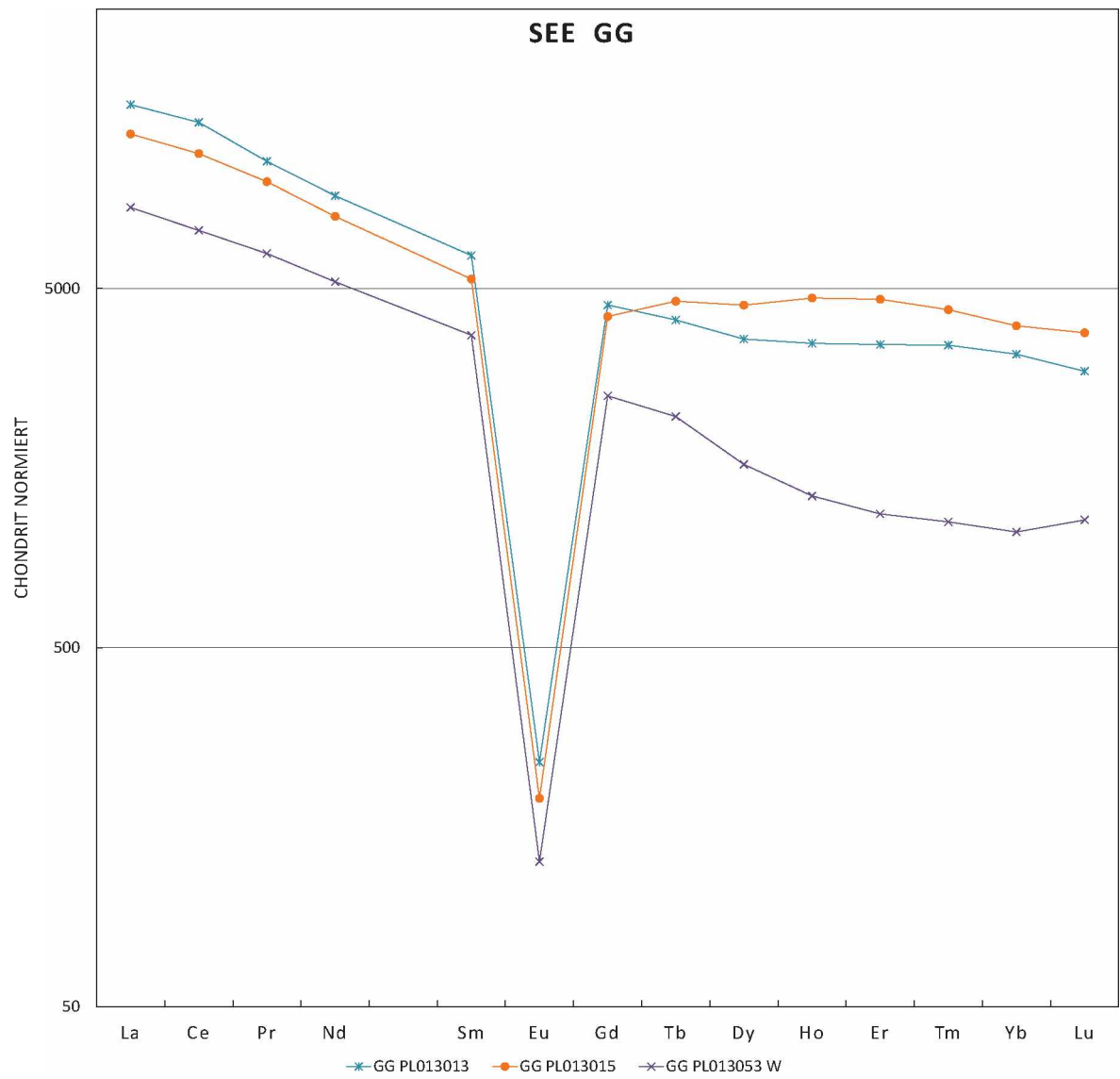


Abb. 54: SEE-Verteilung der GG-Proben in logarithmischer Darstellung, Chondrit-normiert.

5 Diskussion

5.1 Niob und Tantal in Bachsedimenten

Bachsedimente spiegeln in gewisser Weise und in Abhängigkeit des Ausgangsgesteins die gesteinsgeochemische Zusammensetzung des Einzugsgebiets wider. Das durch Verwitterungsprozesse aufgelockerte und aufbereitete Gesteinsmaterial gelangt aufgrund weiterer Erosionsprozesse in Vorfluter und wird dort schließlich abgelagert. Bedingt durch diverse Transportprozesse in Fluss- und Bachläufen, sowie der Zusammensetzung der Gesteinsserien kommt es jedoch häufig zu einer An- bzw. Abreicherung bestimmter Minerale. Dies wirkt sich direkt auf die Elementverteilung und -konzentration im Bachsediment aus.

Die in gelöster Form abtransportierten Elemente werden, je nach hydrochemisch-hydrophysikalischen Milieu, komplett oder teilweise an Tonminerale im Sediment adsorbiert oder eingebaut. Aus diesem Grund wird für eine geochemische Analytik der Bachsedimente überwiegend die Kornfraktion Feinsand, Schluff und Ton herangezogen. Andere Elemente wiederum sind vorrangig an akzessorische Minerale der SM-Fraktion gebunden.

Der Weinsberger Granit zeigt im Unterschied zu anderen Graniten mit tonreicher Verwitterungsform eine tiefgreifende Vergrusung als Folge mechanischer Verwitterungsprozesse. Damit verbunden sind Stoffumlagerung und Mineralneubildung, sowie eine überproportionale Anreicherung der Schwermineralfraktion in der Kornfraktion $< 180 \mu\text{m}$. Dieser „Seifeneffekt“ kann durch eluviale und alluviale Anreicherung der Schwerminerale als Folge des Auswaschens der feinkörnigen, spezifisch leichteren Fraktion hervorgerufen werden.

Aus diesem Grund spiegeln die Feinfraktion- und insbesondere die Schwermineralkonzentrat-Proben primär die chemische Zusammensetzung der Schwermineralfraktion und nicht unbedingt jene der Lithochemie des Einzugsgebietes wider. Für den Fall, dass im Einzugsgebiet eigenständige Nb-Ta-Vererzungen, z.B. in Pegmatiten, vorlägen, wäre mit dem Auftreten diskreter Nb-Ta-Phasen oder auch von Begleitmineralen wie Kassiterit (SnO_2) zu rechnen. Alternativ, für den Fall, dass Nb und Ta nicht in diskreten Mineralphasen (Columbit-Tantalit Gruppe etc.) auftreten, müssten sie in anderen Mineralphasen als Begleit-/Spurenelemente eingebaut, auftreten. Nb und Ta sind dann nicht die einzigen Indikator-Elemente, sondern auch die mit ihnen assoziierten Hauptelemente der jeweiligen Trägerminerale (Mn, Fe, Zn). Wie in dieser Arbeit gezeigt wurde, sind Nb und Ta in den untersuchten Arbeitsgebieten in Sandl und Weitra immer in Ti-Mineralen (Ilmenit, TiO_2 -Oxide) eingebaut. Zu den SEE-reichen Schwermineralphasen im Bereich der Böhmisches Masse zählen vor allem Monazit, Xenotim und Apatit in regional variablen Mengenverhältnissen (Schedl et al., 2013; Berka et al., 2014). Auch dies konnte durch diese Arbeit bestätigt werden.

Die beiden Untersuchungsgebiete weisen regional erhöhte Nb-, Ta- und SEE-Konzentrationen in den SF- und SM-Proben auf. Die Nb- und Ta-Anomalien werden, wie in dieser Studie festgestellt, allerdings nicht durch diskrete Phasen (z.B. Columbit) verursacht, sondern spiegeln die regional geochemische Anreicherung in den Schwermineralphasen bzw. auch in den Lithologien deren Einzugsgebiete wider. Als Träger von Nb und Ta konnten Ti-Oxide, insbesondere Ilmenit identifiziert werden.

Die Kationen von Nb und Ta besitzen einen relativ kleinen Ionenradius mit einer hohen Ionenladung und werden dementsprechend neben den Elementen Ti, Zr, Hf, Th, U und den Seltenerdelementen (SEE) zu der Gruppe der „High Field Strength Elements“ (HFSE) gezählt. Aufgrund der ähnlichen chemischen Eigenschaften von Nb und Ta zeigen sie auch ähnliches geochemischen Verhalten bei geologischen Prozessen. Bei geologischen Prozessen, wie Aufschmelzung oder Kristallisationsprozessen wurde demnach auch keine bzw. nur eine geringe Fraktionierung dieser Elemente postuliert. Das Nb/Ta Verhältnis des primitiven Mantel sollte vergleichbar sein mit unfraktionierten CI Chondrit (Type 1 carboniferous chondrite), die Nb/Ta Verhältnis von ca. 18 aufweisen. Während ozeanische Basalte diese Werte aufwiesen, unterscheidet sich ein Großteil der kontinentalen Kruste mit Nb/Ta = 11-12 davon wesentlich. Neuere Untersuchungen an Basalten des Mittelozeanischen Rückens ergaben jedoch auch hier relativ große Variationsbreiten von 9 bis 18. Diese Analysen lassen den Schluss zu, dass die aus dem Mantel stammenden Basalte zum Teil subchondritische Nb/Ta Verhältnisse aufweisen. Die Ursachen der Nb-Ta Fraktionierung kann durch unterschiedliche magmatische, metamorphe und sedimentäre Prozesse hervorgerufen werden (Hui et al., 2011).

Die Substitution von Nb⁵⁺, Ta⁵⁺, W⁶⁺ und weiteren HFSE-Elementen in der Position des Ti⁴⁺ führt zur Anreicherung dieser Spurenelemente in den Titanmineralen. Während der Einbau von Nb und Ta in Bereichen des ostalpinen Kristallins vorwiegend in Titanoxiden (Rutil) erfolgt (Reiterer, 2012; Baumgartner, 2010), ist es im vorliegenden Arbeitsgebiet hauptsächlich das Titan-Eisen-Oxid Ilmenit.

5.2 MLA

Die mit Hilfe von MLA ermittelten quantitativen Modalbestände vermitteln eine sehr guten Überblick über die verschiedenen Mineralphasen der Bachsedimentkonzentrate und Granitgruse (4.2.1 Modalbestand). Die in den Daten ersichtlich werdenden regionalen Muster spiegeln hauptsächlich das Schwermineralspektrum der dominierenden Lithologien des lokalen Einzugsgebietes der Vorfluter wider.

Die Probe PL013009 zum Beispiel unterscheidet sich mit einem erheblichen Amphibol- und Pyroxenanteil wesentlich von allen anderen Proben. Im Einzugsgebiet des Vorfluters, der mit PL013009 zu assoziieren ist, ist nach der ÖK 17 (Abb. 5) hauptsächlich Feinkorngranit mit dioritischen Einschaltungen zu erwarten. Die dioritischen Einschaltungen dürften die Erklärung für die höheren Gehalte an mafischen Mineralen sein und erklärt die starke Abweichung dieser Probe von den weiteren im Raum Sandl, in dem Einzugsgebiet vorallem der Weinsberger Granit dominiert.

Auffällig ist die deutlich unterschiedliche modale Zusammensetzung der SM-Konzentrate der Bachsedimente im Vergleich zu Granitgrus (Kapitel 4.2). Die GG Proben haben sehr viel weniger Ilmenit, viel mehr Apatit, mehr Zirkon und Monazit. Diese deutlichen Unterschiede in der mineralogischen Zusammensetzung dürften durch selektive Transportprozesse wie Dichte, Kornform, Korngröße, sowie mechanische und chemische Resistenz hervorgerufen werden. Weiters ist anzumerken, dass die SM Proben der Bachsedimente nicht das Schwermineralspektrum der unmittelbar anstehenden Granite widerspiegelt, sondern das eines größeren Einzugsgebietes. Durch die vergleichsweise überproportionale Anreicherung (in SM) von Ilmenit in den Bachsedimenten (im Vergleich zu GG) sind auch die Spurenelemente Nb und Ta, die bevorzugt im Ilmenit eingebaut werden, in den Proben erhöht. Andererseits können Elemente die an abgereicherte (in SM im Vergleich zu GG) Phasen (Apatit, Zirkon) gebunden sind wie SEE, Y, Zr, Hf weniger stark/deutlich angereichert sein. Diese Effekte könnten zu einer „Verschiebung“ bei gewissen Elementen geführt haben.

Granat ist sowohl in SM (1,7 – 20,0 Gew.%) als auch in GG (0,15 – 0,40 Gew.%) unterschiedlich stark präsent. Die Anreicherung in SM gegenüber GG kann einerseits auf den „Seifeneffekt“ im Bachlauf zurückzuführen sein. Als Quelle von Granat könnten neben dem Weinsberger Granit, in dem Granat akzessorisch vorkommt, vor allem die Pseudokinzingit-Einschaltungen (Granat-Cordierit-Biotit Gesteine), die im Weinsberger Granit beschrieben wurden, in Betracht kommen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die automatisierte quantitative Erfassung des modalen Mineralbestandes der einzelnen Proben eine hervorragende Basis zur Interpretation geochemischer Analysen liefert (z.B., Korrelation der Nb- und Ta-Gehalte mit Ilmenit-Gehalt bzw. SEE-Gehalte mit Xenotim-, Apatit- u. Monazit-Gehalt, siehe Kapitel 5.4)

5.3 EMS

Die mittels Elektronenstrahlmikrosonde analysierten Ilmenite und Titanoxide weisen teilweise erhebliche Nb- und Ta-Gehalte bis zu 4080 ppm Nb₂O₅ und 2960 ppm Ta₂O₅ auf (Tab. 10). Titanoxide lassen tendenziell höhere Nb-Werte erkennen als Ilmenite, letztere dominieren allerdings mengenmäßig. Die Verteilung von Nb und Ta wie auch die anderer Elemente (W, Zn) in den einzelnen Körnern ist allerdings sehr variabel, ebenso wie das Verhältnis Nb zu Ta (Kapitel 4.3.5). Dies trifft sowohl auf die mono- als auch auf die polymineralisch auftretenden Ilmenite zu.

Zu erwähnen ist, dass die Nb/Ta Verhältnisse für den überwiegenden Teil der mittels EMS analysierten Ilmenite bei 0,5 – 2 liegt. Diese Verhältnisse sind wesentlich niedriger als jene der Gesamtgesteinsanalysen (SM: 7,2 – 11,7; GG: 9,8 – 15,4) und wie sie aus geochemischen Gründen zu erwarten wären (siehe Kapitel 5.1). Dies könnte auf Fraktionierungsprozesse zurückgeführt werden, bei welchen Ta gegenüber Nb in Ilmenit angereichert worden ist. Dies impliziert allerdings, dass andere Mineralphasen, welche nicht untersucht wurden, mehr Nb als Ta einbauen (Biotit?, Granat?). Trotz sorgfältiger Wahl des Messprogramms und Einstellungen der Parameter kann ein analytischer Fehler z.B. mögliche Überlagerungen der Ta-Linie durch ein anderes Element, nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Dagegen spricht allerdings der relativ hohe und mit den ICP-MS Messungen übereinstimmende Nb/Ta Wert von 10 für die EMS-Messungen an Ilmenit-Standards (Abb. 39 d).

Einige Proben lassen auch unterschiedliche Ilmenit-Populationen erkennen. So können die variablen Haupt- und Spurenelementverteilungen in einigen Proben als zwei unterschiedliche Ilmenit-Populationen (Abb. 33 bis Abb. 35) interpretiert werden. Als Herkunft dieser Ilmenite könnten neben dem Weinsberger Granit, untergeordnet lokal auftretende fraktioniertere Granite (z.B. Plochwald Granit) oder aber auch metamorphe Nebengesteine, Einschaltungen (Pseudokinzingit) bzw. mafische Einschaltungen (Diorite) in Frage kommen.

Die untersuchten Ilmenite treten sowohl als mono- als auch als polymineralische Körner auf. Diese beiden Typen könnten unterschiedlichen Lithologien zuzuordnen sein oder genetisch unterschiedliche Typen einer Lithologie darstellen. Die textuellen Unterschiede manifestieren sich in chemischer Hinsicht jedoch nicht eindeutig, beide zeigen ähnliche chemische Zusammensetzung und große chemische Variationsbreite.

Die mono- und polymineralischen Ilmenite treten sowohl in SM- als auch in GG-Proben auf, wenn auch in GG-Proben viel seltener. Aufgrund dieser ähnlichen textuellen und chemischen

Eigenschaften von GG und SM können die Granite in den Einzugsgebieten der Vorfluter als Herkunft der Ilmenite angesehen werden.

Die Herkunft der Titanoxide Rutil und Anatas können nicht mit Sicherheit angegeben werden. Rutil ist als magmatisches Akzessorium in Granit nicht untypisch. Petrographische Beobachtungen lassen aber darauf schließen, dass Rutil bzw. Anatas vor allem durch Umwandlungsreaktionen aus Ilmenit entstanden sind.

5.4 Geochemische Analytik

Das Vorherrschen von Schwermineralen in SM- und GG-Proben ist einerseits auf die natürliche und andererseits auf die im Zuge der Aufbereitung künstliche Anreicherung dieser Minerale zurückzuführen. Für SM ist dies vorwiegend Ilmenit, für GG hauptsächlich Apatit.

Aufgrund dessen weisen SM- und GG-Proben deutlich höhere Nb- und Ta-Gehalte auf als die vergleichbare SF-Probe eines Probenahmepunktes. Eine positive Korrelation von Niob und Tantal mit dem Ilmenit-Gehalt ist nur für SM im Raum Weitra und die GG-Proben feststellbar. Die Proben aus Sandl weichen teilweise stark davon ab, während die Probe PL013009 mit dem geringsten Ilmenitgehalt auch den niedrigsten Nb-Wert aufweist, zeigt die Probe PL013029 mit einem ebenfalls recht geringen Modalbestand den höchsten Nb-Wert (Abb. 22 und Abb. 47). Die Konzentrationen von Nb und Ta in SM-Proben aus Sandl lassen sich daher nicht direkt mit dem Modalbestand von Ilmenit korrelieren.

Die Nb/Ta Verhältnisse der geochemischen Analyse unterscheiden sich erheblich von den EMS-Messungen der Einzelminerale Ilmenit und Titanoxid-Phasen welche großteils im Bereich von 0,5 – 2,0 liegen. Während die Werte für SM (Sandl: 7,2 – 11,7 bzw. Weitra: 7,4 – 8,6) und SF (Sandl: 6,8 – 13,0 bzw. Weitra: 8,4 – 12,7) geringer sind als dies für durchschnittliche krustale Sedimentgesteine bzw. Chondrite (17,6) zu erwarten wäre, zeigen GG-Proben (Sandl: 10,3 und 15,4 bzw. Weitra: 9,8) hingegen annähernd diese Werte.

Die Analyse der Seltenerdelemente zeigt ähnliche negative Europium-Anomalien für SM- und SF-Proben ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,06 - 0,30$ und $0,030 - 0,251$, Tab. 14 und Tab. 13). Für SM ist im Vergleich zu SF aber eine erhebliche Zunahme der SEE-Summe sowie der HREE-Werte zu erkennen. Während SF Proben $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 1,3 - 4,2$ aufweisen, liegen diese bei SM mit $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 0,6 - 12,1$ wesentlich höher. Dies reflektiert die Anreicherung von Mineralphasen in SM, die LREE fraktionieren. Als potentiellen SEE-Träger für die LREE wurden Monazit und Apatit identifiziert.

Die besonders auffällige Zunahme der HREE in den GG-Proben wird hauptsächlich durch Xenotim kontrolliert. Die Konzentrationen der HREE sind sehr gut mit den durch MLA ermittelten Gehalten von Xenotim korrelierbar.

Die SEE-Pattern der SM-Proben aus Weitra zeigen eine gute Übereinstimmung mit dem untersuchten Granitgrus und können somit ein Indiz für deren Ursprung sein.

6 Literaturverzeichnis

Acme Labs, www.acmelabs.com

AHRER, S., 2014: „Geowissenschaftliche und aufbereitungstechnische Untersuchungen an ausgewählten Pegmatiten und deren Nb-Ta-Vererzungen in den Ostalpen, Steiermark, Österreich.“ Masterarbeit, Montanuniversität Leoben, 105.

ANDEL van, T.H., 1950: „Provenance, transport and deposition of Rhine sediments.“ Univ. Groningen, Wageningen, 129.

BAUMGARTNER, R.J., 2010: „Mineralogische und mineralchemische Untersuchungen zur Verifizierung einer Nb-Anomalie in der südlichen Saualpe, Kärnten.“ Bakkalaureatsarbeit, Montanuniversität Leoben, 67.

BERKA, R., R. KATZLBERGER, CH., PHILIPPITSCH, R., SCHUBERT, G., KORNER, M., LANDSTETTER, C., MOTSCHKA, K., PIRKL, H., GRATH, J., DRAXLER, A. & HÖRHAN, TH., 2014: „Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000.“ Geologische Bundesanstalt, Wien, 109.

BEV, www.austrianmaps.at (Zugriff Februar 2014).

BOENIGK, W., 1983: „Schwermineralanalyse“ Enke, Stuttgart.

BREITER, K. & SCHARBERT, S., 1995: „The Homolka magmatic centre, an example of late Variscan ore bearing magmatism in the South Bohemian Batholith (Southern Bohemia, Northern Austria).“ Jb. Geol. B.-A., 9-25.

FANDRICH, R., GU, Y., BURROWS, D. & MOELLER, K., 2007: „Modern SEM-based mineral liberation analysis.“ Int. J. Miner. Process., 310-320.

FINGER, F. & QUANDT von, A., 1992: „Wie alt ist der Weinsberg Granit? U/Pb versus Rb/Sr Geochronologie.“ Mitt. Österr. Mineral. Ges. 137, 83-86.

- FINGER, F. & CLEMENS, J.D., 1995: „Migmatization and 'secondary' granitic magmas: effects of emplacement and crystallization of 'primary' granitoids in Southern Bohemia, Austria.“ *Contrib. Mineral. Petrol.*, 311-326.
- FRANKE, W., 2000: „The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution.“ *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 35-61.
- FRIEDL, G., FINGER, F., PAQUETTE, J.-L. & QUANDT von, A., 2004: „Pre-Variscan geological events in the Austrian part of the Bohemian Massif deduced from U–Pb zircon ages.“ *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)*, 802-823.
- FRIEDL, G., FRASL, G., QUANDT von, A. & FINGER, F., 1992: „Neue U/Pb Altersdaten aus der südlichen Böhmisches Masse.“ *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten*, 217-218.
- FUCHS, G. & SCHWAIGHOFER, B., 1977: „Geologische Karte der Republik Österreich 1:50000, Blatt 17, Grosspertholz.“ *Geologische Bundesanstalt, Wien*.
- HAUNSCHMID, B., 1989: „Das Granitgebiet um Plochwald zwischen Sandl und Windhaag im nordöstlichen Oberösterreich: Mit besonderer Berücksichtigung des dortigen Plochwalder Granit-Typs und des Pseudokinzingits.“ *Diplomarbeit, Salzburg*.
- HUI, H., NIU, Y., ZHIDAN, Z., HEI, H. & DICHENG, Z., 2011: „On the Enigma of Nb-Ta and Zr-Hf Fractionation - A Critical Review.“ *Journal of Earth Science*, 52-66.
- KLÖTZLI, U.S., KOLLER, F., SCHARBERT, S. & HÖCK, V., 2001: „Cadomian lower-crustal contributions to Variscan granite petrogenesis (South Bohemian Pluton, Austria): Constraints from zircon typologie and geochronology, whole-rock, and feldspar Pb-Sr isotope systematic.“ *Journal of Petrology*, 1621-1642.
- KLÖTZLI, U.S., FRANK, W., SCHARBERT, S. & THÖNI, M., 1999: „Evolution of the SE Bohemian Massif Based on Geochronological Data – A Review.“ *Jb. Geol. B.-A.*, 377-394.
- KLÖTZLI, U.S., KOLLER, F. & HÖCK, V., 1995: „Pre-Variscan remnant lower crustal rocks in Variscan granitoids of the South Bohemian Pluton (Bohemian Massif, Austria).“ *Terra Nova*.

KLOB, H., 1970: „Über das Vorkommen eines porphyrischen Granites im Raume Sandl-Karlstift-Linbenau bei Freistadt im oberösterreichischen Mühlviertel (Granit Typ "Karlstift").“ *Tschermaks Miner. u. Petrogr. Mitt.*

KURAT, G., 1965: „Der Weinsberg Granit im südlichen österreichischen Moldanubikum.“ *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 3. Folge, Band 9, 3. Heft, 202-227.

LEGERER, P.A., NEINAVAIE, H. & RAITH, J.G., 2014a: „Untersuchung von Bachsediment-Anomalien (Nb, Ta, SEE) in der Böhmischen Masse.“ Posterpräsentation, Pangeo 2014, Graz.

LEGERER, P.A., NEINAVAIE, H. & RAITH, J.G., 2014b: „Mineralogical and geochemical investigations of selected stream sediment anomalies (Nb, Ta, REE) in the Bohemian Massif.“ *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, 49-53.

LINNER, M., 2013: „Metamorphoseentwicklung und Deckenbau des Moldanubikums mit Fokus auf den Raum Melk - Dunkelsteinerwald.“ Arbeitstagung 2013 der Geol. B.-A., Geologie der Kartenblätter 55 Ober-Grafendorf und 56 St. Pölten, Melk 23.-27. September 2013, 43-56.

MÜCKE, A. & BHADRA CHAUDHURI J.N., 1991: „The continuous alteration of ilmenite through pseudorutile to leucoxene.“ *Ore Geology Reviews*, 6, 25-44.

MEINHOLD, G., 2010: „Rutile and its applications in earth sciences.“ *Earth-Science Reviews*, 1-28.

POWNCEBY, M.I., SPARROW, G.J. & FISHER-WHITE, M.J., 2008: „Mineralogical characterisation of Eucla Basin ilmenite concentrates - First results form a new global resource.“ *Minerals Engineering*, 587-597.

QUANDT von, A. & FINGER F., 1991: „Geochronologische Untersuchungen im österreichischen Teil des Südböhmischen Batholiths: U-Pb Datierung an Zirkonen, Monaziten und Xenotimen des Weinsberger Granits.“ *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. Beiheft zum European Journal of Mineralogy Vol. 3.*

REITERER, A. 2012: „Mineralogische und mineralchemische Verifizierung einer Nb-Anomalie im Raum Predlitz, Steiermark.“ Bakkalaureatsarbeit, Montanuniversität Leoben, 57.

REYNEKE, L. & WALLMACH, T., 2007: „Characterization of FeTi-oxide species occurring in the Ranobe heavy mineral deposit, Madagascar.“ The 6th International Heavy Minerals Conference ‘Back to Basics’, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 151-158.

RUSSEL, R.D., 1936: „The size distribution of minerals in Mississippi river sands.“ Journ. Sed. Petrology, 125-142.

SCHARBERT, S., 1987: „Rb-Sr Untersuchungen granitoider Gesteine des Moldanubikums in Österreich.“ Mitt. Österr. Min. Ges., 21–37.

SCHEDL, A., LIPARSKI, P., NEINAVAIE, H., BENOLD, CH., PFEIDERER, S. & BIEBER, G., 2013: „Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe gemäß der Kommissionsstudie, Kritische Rohstoffe für die EU (2010) – Datenaufbereitung betreffend Böhmisches Massiv, Ergebnissevaluierung als fachliche Basis zukünftiger Projektplanungen. Endbericht Projekt ÜLG – 63.“ Geologische Bundesanstalt, Wien.

THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G., 1989: „Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1.000.000 Böhmisches Massiv und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm).“ Geologische Bundesanstalt, Wien.

WALTER, R., 2007: Geologie von Mitteleuropa.: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

WASSON, J.T. & KALLEMEYN G.W., 1988: „Compositions of Chondrites.“ Phil. Trans. R. Soc. Lond., 535-544.

7 Appendix

Die EMS-Einzelanalysen von Ilmenit und Titanoxid ebenso wie die MLA-Analysen sowie alle übrigen Messergebnisse befinden sich auf dem, der Masterarbeit beiliegendem, Datenspeicher (DVD).

Tabelle A: Probenahmepunkte mit Art und Datum der Probenahme, Siebbödenanzahl, Verunreinigungen, Bemerkungen, Probenahmegebiet und Koordinaten (PN = Probenahme).

Proben-nummer	Probenart	Datum Probe-nahme	Anzahl Siebböden	Verunreinigun-g im Bachbett	Bemerkung	Probenahme Gebiet	Koordinaten UTM (WGS84)
PL013001	SM	23.09.2013	2,75	-	-	SANDL	33 U 473224 5380550
PL013002	SF	23.09.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013003	SM	23.09.2013	2,75	-	aufgrund von Drainagenrohren und durch deren Eintrag von Fremdmaterial (gerundeter Kies) wurde die PN flussaufwärts verlegt	SANDL	33 U 470607 5384513
PL013004	SF	23.09.2013	-	-	w.o.	SANDL	w.o.
PL013005	SM	24.09.2013	3,25	-	-	SANDL	33 U 470570 5381582
PL013006	SF	24.09.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013007	SM	24.09.2013	2,25	-	-	SANDL	33 U 469658 5381295
PL013008	SF	24.09.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013009	SM	24.09.2013	3,75	-	-	SANDL	33 U 470501 5380282
PL013010	SF	24.09.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013011	SM	24.09.2013	4,5	-	-	SANDL	33 U 470489 5380221
PL013012	SF	24.09.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013013	GG	25.09.2013	4	-	-	SANDL	33 U 473620 5380434
PL013015	GG	02.10.2013	5,5	-	-	SANDL	33 U 473173 5381102

Probennummer	Probenart	Datum Probenahme	Anzahl Siebböden	Verunreinigung im Bachbett	Bemerkung	Probenahme Gebiet	Koordinaten UTM (WGS84)
PL013017	SM	03.10.2013	2,75	-	Kuhweide; Granatreich	SANDL	33 U 472993 5381818
PL013018	SF	03.10.2013	-	-	Kuhweide	SANDL	w.o.
PL013019	SM	04.10.2013	3,75	Glas, Blechdosen, Kunststoffe	orografisch rechts bachaufwärts der Probennahme kleine Bacheinmündung	SANDL	33 U 473679 5379482
PL013020	SF	04.10.2013	-	w.o.	w.o.	SANDL	w.o.
PL013021	SM	04.10.2013	1,5	-	Drainagenrohre münden in Bach	SANDL	33 U 470190 5385311
PL013022	SF	04.10.2013	-	-	Drainagenrohre münden in Bach; kaum SF Fraktion, PN bis 300m bachaufwärts	SANDL	w.o.
PL013023	SM	07.10.2013	2,75	Ziegelbruch stücke	orografisch rechts 30m bachaufwärts von Probenahmepunkt Zufluß einer Drainage; Kuhweide bachaufwärts	SANDL	33 U 469309 5383248
PL013024	SF	07.10.2013	-	w.o.	w.o.	SANDL	w.o.
PL013025	SM	07.10.2013	3	-	-	SANDL	33 U 469646 5383059
PL013026	SF	07.10.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013027	SM	08.10.2013	2,5	-	orografisch links mehrere kleine Zuflüsse aus Sumpfgelbiet; kaum Strömung; unter A- Horizont grau-blaue Ton- Schlufffraktion	SANDL	33 U 475392 5379783
PL013028	SF	08.10.2013	-	-	w.o.; da Bachverlauf gerade schwierige SF PN, zum Teil Eintrag aus Ton- Schluff Bereich	SANDL	w.o.
PL013029	SM	08.10.2013	3,25	-	-	SANDL	33 U 473548

Probennummer	Probenart	Datum Probenahme	Anzahl Siebböden	Verunreinigung im Bachbett	Bemerkung	Probenahme Gebiet	Koordinaten UTM (WGS84)
PL013030	SF	08.10.2013	-	-	-	SANDL	5382692 w.o.
PL013035	SM	09.10.2013	2	-	-	SANDL	33 U 473602 5382708
PL013036	SF	09.10.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013037	SM	09.10.2013	1,75	-	-	SANDL	33 U 473469 5382981
PL013038	SF	09.10.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013039	SM	14.10.2013	1,75	-	-	SANDL	33 U 472528 5383157
PL013040	SF	14.10.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013041	SM	14.10.2013	4,25	-	-	SANDL	33 U 472267 5383811
PL013042	SF	14.10.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013043	SM	15.10.2013	3,25	-	-	SANDL	33 U 472332 5383690
PL013044	SF	15.10.2013	-	-	-	SANDL	w.o.
PL013045	SM	16.10.2013	2,25	Glas, Tonziegel, Keramik	PN nach Verrohrung	WEITRA	33 U 492060 5389499
PL013046	SF	16.10.2013	-	w.o.	w.o.	WEITRA	w.o.
PL013047	SM	16.10.2013	3	-	-	WEITRA	33 U 492156 5389484
PL013048	SF	16.10.2013	-	-	-	WEITRA	w.o.
PL013049	SM	16.10.2013	2,5	Tonziegel	unter A-Horizont graue Ton-Schluff Fraktion	WEITRA	33 U 492216 5389470
PL013050	SF	16.10.2013	-	w.o.	w.o.	WEITRA	w.o.
PL013053	GG	17.10.2013	7	-	-	WEITRA	33 U 492281 5387718



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 2 of 2 Part: 1 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005294.1

Method		4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
Analyte		SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	Ga
Unit		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL		0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	0.5
SF PL013002	Sediment Pulp	62.86	15.93	3.90	0.46	2.72	3.40	3.06	2.60	0.58	0.18	0.003	<20	9	3.6	99.24	626	3	4.2	3.5	21.4
SF PL013004	Sediment Pulp	62.76	17.31	3.01	0.59	3.10	3.43	2.69	1.11	0.47	0.09	0.005	<20	7	5.0	99.60	552	3	5.3	3.6	22.5
SF PL013006	Sediment Pulp	65.45	16.03	3.01	0.58	2.33	3.37	3.45	1.20	0.42	0.10	0.002	<20	9	3.5	99.46	837	7	4.8	3.7	21.1
SF PL013008	Sediment Pulp	62.55	15.98	3.40	0.75	2.77	3.29	3.01	1.22	0.50	0.10	0.003	<20	10	5.9	99.49	1032	6	5.8	4.3	20.1
SF PL013010	Sediment Pulp	62.78	15.20	4.06	0.96	3.01	3.13	3.36	1.18	0.49	0.12	0.003	<20	13	5.1	99.42	1706	2	6.0	3.6	18.1
SF PL013012	Sediment Pulp	66.28	16.81	2.07	0.56	1.88	4.19	4.13	0.75	0.31	0.06	<0.002	<20	5	2.6	99.65	796	4	4.0	5.9	24.0
SF PL013018	Sediment Pulp	64.72	16.20	2.76	0.40	2.36	3.73	3.63	1.66	0.55	0.13	0.004	<20	7	3.3	99.44	544	10	4.4	5.3	23.3
SF PL013020	Sediment Pulp	60.93	17.46	3.43	0.80	2.05	3.38	3.35	1.01	0.49	0.10	0.004	<20	8	6.7	99.68	429	8	6.2	9.1	25.5
SF PL013022	Sediment Pulp	57.19	17.68	4.15	0.74	3.15	3.23	2.27	1.80	0.52	0.15	0.004	<20	9	8.5	99.43	458	4	8.1	3.6	23.9
SF PL013024	Sediment Pulp	61.16	17.33	3.35	0.53	3.20	3.70	2.49	1.50	0.50	0.12	0.004	<20	7	5.6	99.49	440	3	5.1	2.9	21.4
SF PL013026	Sediment Pulp	58.20	17.37	4.80	0.58	3.31	3.43	2.29	3.43	0.88	0.22	0.006	<20	10	4.2	98.71	420	3	5.5	3.9	23.1
SF PL013028	Sediment Pulp	59.78	16.82	4.74	0.71	2.25	2.86	3.09	2.06	0.63	0.17	0.004	<20	9	6.3	99.37	479	9	6.8	5.1	22.4
SF PL013030	Sediment Pulp	66.32	15.90	2.10	0.36	1.41	3.48	3.62	0.96	0.35	0.09	0.002	<20	6	5.0	99.58	281	4	3.1	7.1	21.7
SF PL013032	Sediment Pulp	61.02	17.37	3.41	0.80	2.05	3.31	3.29	1.03	0.50	0.10	0.004	<20	8	6.8	99.68	452	5	5.9	7.8	25.6
SF PL013034	Sediment Pulp	75.43	12.24	1.95	0.03	0.77	3.33	5.08	0.09	0.02	0.02	0.008	25	<1	0.8	99.77	110	7	0.9	0.8	30.4
SF PL013036	Sediment Pulp	62.24	16.41	3.18	0.50	2.34	3.16	3.21	1.42	0.57	0.14	0.003	<20	7	6.3	99.50	355	6	7.6	5.2	22.4
SF PL013038	Sediment Pulp	59.82	17.66	3.17	0.59	3.22	3.59	2.43	1.26	0.56	0.10	0.005	<20	7	7.1	99.55	393	5	6.0	3.9	23.3
SF PL013040	Sediment Pulp	59.57	16.57	4.04	0.47	2.63	3.33	2.82	2.19	0.68	0.25	0.004	<20	8	6.8	99.32	306	5	10.5	5.2	22.8
SF PL013042	Sediment Pulp	60.12	16.15	4.99	0.45	3.19	3.25	2.55	3.82	0.84	0.24	0.003	<20	8	3.2	98.79	429	2	5.2	3.0	20.1
SF PL013044	Sediment Pulp	60.73	17.08	3.45	0.39	3.86	3.82	2.16	2.41	0.94	0.16	0.003	<20	6	4.3	99.30	371	4	6.1	2.4	20.2
SF PL013046	Sediment Pulp	65.16	17.03	2.34	0.56	3.52	4.23	2.73	0.65	0.54	0.06	0.002	<20	5	2.8	99.68	512	4	3.3	3.4	20.1
SF PL013048	Sediment Pulp	56.80	17.56	5.23	1.12	3.14	3.33	2.28	1.33	0.67	0.10	0.005	<20	11	7.9	99.46	380	6	11.2	8.0	24.2
SF PL013050	Sediment Pulp	61.14	17.37	3.26	0.76	3.58	4.01	2.54	1.01	0.68	0.09	0.003	<20	7	5.2	99.64	465	6	6.5	3.6	22.4

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

Abbildung A: Ergebnisse der geochemischen Analytik der SF-Proben.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 2 of 2

Part: 2 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005294.1

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
		Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL		0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	0.01
SF PL013002	Sediment Pulp	72.9	43.3	127.9	4	224.1	4.0	207.5	35.5	27	4.5	2650.7	375.3	351.2	785.3	93.96	364.3	72.40	1.86	65.12	10.34
SF PL013004	Sediment Pulp	33.7	16.3	99.2	3	182.1	1.4	91.5	9.2	35	1.4	1254.3	133.5	182.3	397.2	45.51	176.6	33.56	1.79	28.21	4.18
SF PL013006	Sediment Pulp	46.4	24.0	144.1	4	293.0	2.4	122.0	19.7	33	2.1	1731.9	186.7	202.1	435.4	52.21	201.2	40.30	1.48	36.78	5.76
SF PL013008	Sediment Pulp	39.4	24.6	127.8	4	377.0	2.3	101.8	16.8	38	1.3	1486.3	146.5	170.6	384.4	44.47	171.5	33.99	1.77	29.69	4.66
SF PL013010	Sediment Pulp	39.3	25.4	126.3	9	504.3	2.2	71.9	15.4	58	10.1	1577.7	125.7	108.0	233.8	28.20	108.9	22.66	2.13	20.50	3.29
SF PL013012	Sediment Pulp	16.7	17.1	183.6	6	257.1	1.7	43.9	7.1	30	1.8	628.1	37.9	76.7	150.7	18.77	69.0	12.31	1.12	9.90	1.32
SF PL013018	Sediment Pulp	45.0	31.0	158.5	5	180.4	4.0	125.6	19.2	25	3.5	1638.3	224.0	212.9	442.6	55.92	213.1	42.49	1.42	38.85	5.99
SF PL013020	Sediment Pulp	27.1	22.5	175.8	7	147.3	2.3	75.1	13.2	43	2.1	977.5	92.7	138.2	301.5	35.50	136.8	26.89	1.31	22.19	3.19
SF PL013022	Sediment Pulp	50.2	27.6	110.0	3	177.1	2.4	142.2	17.7	40	2.4	1947.7	253.2	273.1	592.6	71.06	276.1	54.11	2.09	47.01	7.16
SF PL013024	Sediment Pulp	45.2	22.6	95.0	3	191.1	2.1	133.7	14.7	28	2.4	1692.8	241.9	246.9	561.3	65.53	249.8	48.71	1.85	42.07	6.73
SF PL013026	Sediment Pulp	125.4	45.4	93.6	3	174.4	3.5	387.6	38.4	25	2.3	4669.1	748.6	710.5	1546.0	185.54	718.0	137.73	2.71	121.25	18.97
SF PL013028	Sediment Pulp	58.3	35.6	158.8	6	137.5	3.2	160.2	23.5	34	5.6	2148.7	328.6	294.5	638.5	74.99	298.4	57.58	1.87	52.39	8.52
SF PL013030	Sediment Pulp	42.0	21.9	204.5	7	90.6	3.2	136.0	27.3	21	2.1	1516.1	160.3	220.6	517.4	59.81	223.7	44.88	0.97	37.02	5.54
SF PL013032	Sediment Pulp	25.5	23.2	180.0	8	151.8	2.2	75.2	12.4	39	2.6	912.2	90.5	146.5	311.0	36.61	143.1	27.58	1.48	22.68	3.28
SF PL013034	Sediment Pulp	12.6	51.2	326.9	5	10.0	4.5	51.0	17.8	13	1.3	282.9	128.8	111.9	193.4	21.01	71.8	14.43	0.30	14.83	2.70
SF PL013036	Sediment Pulp	45.0	26.4	169.8	6	126.6	2.9	146.5	21.2	24	1.6	1668.1	232.6	256.6	572.8	66.53	259.8	51.55	1.56	43.91	6.86
SF PL013038	Sediment Pulp	40.5	20.9	107.6	4	173.6	1.7	120.8	12.6	32	1.2	1504.7	193.9	226.0	491.1	58.26	222.9	43.63	1.76	37.08	5.64
SF PL013040	Sediment Pulp	64.3	36.6	133.6	5	135.4	3.6	190.3	30.9	33	3.6	2401.8	478.5	325.0	720.8	84.92	333.7	67.75	1.71	63.37	11.31
SF PL013042	Sediment Pulp	117.1	48.9	93.0	3	168.1	4.3	346.3	39.6	22	3.2	4346.0	874.9	623.9	1368.5	162.61	628.2	124.38	2.70	116.39	19.76
SF PL013044	Sediment Pulp	59.4	33.6	81.3	3	182.4	3.2	194.4	23.9	25	1.7	2314.7	497.7	353.2	783.6	91.28	356.7	70.20	2.21	70.36	11.85
SF PL013046	Sediment Pulp	29.5	11.1	109.4	4	203.7	0.9	66.1	7.5	21	0.8	1090.5	70.7	137.2	297.4	34.03	131.2	24.10	1.71	20.38	2.75
SF PL013048	Sediment Pulp	52.4	22.9	139.0	6	172.8	1.8	120.9	13.9	56	1.7	1997.0	114.9	247.7	523.8	61.45	232.5	42.60	1.83	33.92	4.41
SF PL013050	Sediment Pulp	32.8	15.2	119.0	4	197.9	1.8	76.2	8.9	35	2.2	1247.1	89.2	163.7	351.2	40.58	155.6	28.85	1.87	23.43	3.31

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: **University of Leoben**
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
 Report Date: February 06, 2014

Page: 2 of 2

Part: 3 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005294.1

Method	Analyte	Unit	4A-4B Dy	4A-4B Ho	4A-4B Er	4A-4B Tm	4A-4B Yb	4A-4B Lu	2A Leco TOT/C	2A Leco TOT/S	1DX Mo	1DX Cu	1DX Pb	1DX Zn	1DX Ni	1DX As	1DX Cd	1DX Sb	1DX Bi	1DX Ag	1DX Au	1DX Hg
		MDL	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppm
SF PL013002	Sediment Pulp		65.70	13.89	41.68	6.42	39.17	5.51	0.87	<0.02	0.2	3.7	12.1	37	4.8	<0.5	0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013004	Sediment Pulp		24.16	4.79	14.66	2.19	13.80	2.03	1.37	<0.02	0.2	4.6	12.8	41	7.2	1.6	0.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013006	Sediment Pulp		32.77	6.49	18.53	2.85	17.96	2.50	0.90	<0.02	0.2	3.6	14.3	51	5.2	1.1	0.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.01
SF PL013008	Sediment Pulp		26.88	5.54	16.31	2.42	15.03	2.12	1.78	0.02	0.2	5.0	15.9	50	5.6	1.7	0.5	<0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.03
SF PL013010	Sediment Pulp		20.33	4.60	13.38	2.04	12.86	1.83	1.36	0.03	0.3	6.4	14.2	50	4.7	1.5	0.2	<0.1	0.2	<0.1	0.6	0.01
SF PL013012	Sediment Pulp		6.30	1.18	3.36	0.53	3.58	0.51	0.43	<0.02	<0.1	2.1	9.4	45	3.9	0.8	0.3	<0.1	0.2	<0.1	0.6	0.02
SF PL013018	Sediment Pulp		36.93	8.12	24.13	3.78	24.51	3.43	0.76	<0.02	<0.1	3.7	14.6	47	4.3	1.6	0.2	<0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013020	Sediment Pulp		16.92	3.34	9.45	1.37	8.24	1.28	1.76	<0.02	<0.1	5.9	18.2	61	7.8	1.4	0.5	<0.1	0.4	<0.1	<0.5	0.05
SF PL013022	Sediment Pulp		42.22	9.05	28.37	4.30	27.87	4.03	2.41	0.03	0.1	10.0	18.3	93	10.4	1.7	0.6	<0.1	0.2	0.1	0.9	0.04
SF PL013024	Sediment Pulp		41.48	8.83	26.93	4.10	26.22	3.74	1.80	<0.02	0.2	4.2	13.5	51	5.8	1.0	0.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013026	Sediment Pulp		117.66	26.89	84.97	13.42	84.63	12.53	0.89	<0.02	0.2	3.5	11.2	39	7.4	0.8	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013028	Sediment Pulp		53.23	11.58	33.84	5.17	33.32	4.71	1.50	<0.02	0.1	5.9	13.2	48	8.4	5.1	0.3	<0.1	0.6	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013030	Sediment Pulp		30.79	5.67	16.25	2.26	13.74	2.00	1.52	<0.02	<0.1	3.3	11.9	48	5.1	0.9	0.3	<0.1	0.5	<0.1	<0.5	0.03
SF PL013032	Sediment Pulp		18.26	3.41	9.73	1.40	8.48	1.20	1.74	<0.02	0.1	6.1	16.6	67	8.1	1.5	0.5	<0.1	0.4	<0.1	<0.5	0.04
SF PL013034	Sediment Pulp		18.59	4.17	13.47	2.17	13.78	2.04	0.02	<0.02	2.8	9.4	32.6	48	1.2	16.3	0.1	0.4	0.3	<0.1	<0.5	0.01
SF PL013036	Sediment Pulp		40.69	8.00	23.41	3.49	22.59	3.10	1.93	<0.02	0.2	4.7	13.5	60	6.7	2.1	0.6	<0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.04
SF PL013038	Sediment Pulp		32.69	6.71	21.52	3.15	20.54	2.90	2.31	0.02	0.2	5.0	12.5	50	7.6	1.7	0.4	<0.1	0.2	<0.1	0.8	0.03
SF PL013040	Sediment Pulp		74.13	16.73	50.88	7.69	47.53	6.88	1.99	<0.02	0.3	4.6	23.4	38	5.6	2.8	0.3	<0.1	0.4	<0.1	<0.5	0.04
SF PL013042	Sediment Pulp		129.70	30.78	100.40	15.91	100.41	14.43	0.80	<0.02	0.2	4.2	12.4	37	6.0	1.9	0.2	<0.1	0.2	<0.1	0.6	0.02
SF PL013044	Sediment Pulp		78.09	17.72	56.13	8.76	54.92	8.07	1.14	<0.02	<0.1	3.1	14.5	40	3.9	1.4	0.3	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.02
SF PL013046	Sediment Pulp		14.15	2.55	7.54	1.08	6.98	1.01	0.56	<0.02	0.2	8.5	21.6	60	6.2	1.6	0.3	<0.1	0.2	<0.1	1.2	0.02
SF PL013048	Sediment Pulp		22.50	4.20	11.42	1.59	10.23	1.59	2.12	0.03	0.4	8.8	20.4	84	10.5	3.5	0.3	0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.06
SF PL013050	Sediment Pulp		17.80	3.28	9.07	1.41	9.35	1.43	1.29	0.02	0.3	8.6	20.2	70	8.4	1.2	0.2	<0.1	0.2	<0.1	2.0	0.03

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval. preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062.F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 2 of 2

Part: 4 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005294.1

Method	Analyte	1DX	1DX
		Tl	Se
Unit		ppm	ppm
MDL		0.1	0.5
SF PL013002	Sediment Pulp	0.2	0.5
SF PL013004	Sediment Pulp	0.3	<0.5
SF PL013006	Sediment Pulp	0.3	0.6
SF PL013008	Sediment Pulp	0.3	0.6
SF PL013010	Sediment Pulp	0.3	<0.5
SF PL013012	Sediment Pulp	0.3	<0.5
SF PL013018	Sediment Pulp	0.2	<0.5
SF PL013020	Sediment Pulp	0.4	<0.5
SF PL013022	Sediment Pulp	0.4	1.0
SF PL013024	Sediment Pulp	0.3	<0.5
SF PL013026	Sediment Pulp	0.2	<0.5
SF PL013028	Sediment Pulp	0.3	1.0
SF PL013030	Sediment Pulp	0.3	<0.5
SF PL013032	Sediment Pulp	0.4	<0.5
SF PL013034	Sediment Pulp	<0.1	0.6
SF PL013036	Sediment Pulp	0.4	<0.5
SF PL013038	Sediment Pulp	0.3	0.5
SF PL013040	Sediment Pulp	0.4	0.9
SF PL013042	Sediment Pulp	0.3	1.1
SF PL013044	Sediment Pulp	0.2	0.6
SF PL013046	Sediment Pulp	0.2	<0.5
SF PL013048	Sediment Pulp	0.6	<0.5
SF PL013050	Sediment Pulp	0.4	<0.5

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 1 of 1

Part: 1 of 4

QUALITY CONTROL REPORT **VAN13005294.1**

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	Ga	
	Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
	MDL	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	0.5	
SF PL013036	Sediment Pulv	62.24	16.41	3.18	0.50	2.34	3.16	3.21	1.42	0.57	0.14	0.003	<20	7	6.3	99.50	355	6	7.6	5.2	22.4	
Pulp Duplicates																						
SF PL013030	Sediment Pulv	66.32	15.90	2.10	0.36	1.41	3.48	3.62	0.96	0.35	0.09	0.002	<20	6	5.0	99.58	281	4	3.1	7.1	21.7	
REP SF PL013030	QC	66.17	15.98	2.13	0.36	1.42	3.53	3.59	0.98	0.35	0.09	0.003	<20	6	5.0	99.58	292	4	3.8	7.2	20.9	
SF PL013034	Sediment Pulv	75.43	12.24	1.95	0.03	0.77	3.33	5.08	0.09	0.02	0.02	0.008	25	<1	0.8	99.77	110	7	0.9	0.8	30.4	
REP SF PL013034	QC	75.64	12.18	1.93	0.04	0.77	3.28	5.02	0.09	<0.01	0.02	<0.002	<20	<1	0.8	99.78	110	4	0.7	0.7	28.8	
SF PL013050	Sediment Pulv	61.14	17.37	3.26	0.76	3.58	4.01	2.54	1.01	0.68	0.09	0.003	<20	7	5.2	99.64	465	6	6.5	3.6	22.4	
REP SF PL013050	QC																					
Reference Materials																						
STD DS10	Standard																					
STD GS311-1	Standard																					
STD GS910-4	Standard																					
STD OREAS45EA	Standard																					
STD SO-18	Standard	58.26	14.03	7.55	3.36	6.31	3.76	2.17	0.69	0.78	0.39	0.549	49	24	1.9	99.76	479	<1	23.8	7.2	15.9	
STD SO-18	Standard	57.73	14.20	7.80	3.42	6.32	3.72	2.09	0.70	0.85	0.40	0.548	50	24	1.9	99.70	544	2	27.9	6.7	17.5	
STD SO-18	Standard	57.52	14.27	7.77	3.43	6.39	3.81	2.13	0.71	0.81	0.41	0.555	54	25	1.9	99.72	503	2	25.9	6.6	19.1	
STD DS10 Expected																						
STD OREAS45EA Expected																						
STD GS311-1 Expected																						
STD GS910-4 Expected																						
STD SO-18 Expected		58.47	14.23	7.67	3.35	6.42	3.71	2.17	0.69	0.83	0.39	0.55	44	25			514		26.2	7.1	17.6	
BLK	Blank																					
BLK	Blank																					
BLK	Blank	0.01	<0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.002	<20	<1	0.0	0.05	<1	2	<0.2	<0.1	<0.5	
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.002	<20	<1	0.0	<0.01	<1	<1	<0.2	<0.1	<0.5	

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports @ unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 1 of 1

Part: 2 of 4

QUALITY CONTROL REPORT **VAN13005294.1**

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
		Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
	Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	MDL	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	0.01
SF PL013036	Sediment Pulp	45.0	26.4	169.8	6	126.6	2.9	146.5	21.2	24	1.6	1668.1	232.6	256.6	572.8	66.53	259.8	51.55	1.56	43.91	6.86
Pulp Duplicates																					
SF PL013030	Sediment Pulp	42.0	21.9	204.5	7	90.6	3.2	136.0	27.3	21	2.1	1516.1	160.3	220.6	517.4	59.81	223.7	44.88	0.97	37.02	5.54
REP SF PL013030	QC	41.4	23.9	205.7	6	92.5	2.6	132.7	26.9	19	2.7	1462.0	165.8	208.5	475.0	55.61	214.0	42.68	0.89	34.90	5.33
SF PL013034	Sediment Pulp	12.6	51.2	326.9	5	10.0	4.5	51.0	17.8	13	1.3	282.9	128.8	111.9	193.4	21.01	71.8	14.43	0.30	14.83	2.70
REP SF PL013034	QC	12.3	51.1	323.9	4	9.7	4.6	51.8	18.1	10	1.6	276.7	123.3	110.0	193.5	20.92	72.3	14.43	0.34	14.57	2.69
SF PL013050	Sediment Pulp	32.8	15.2	119.0	4	197.9	1.8	76.2	8.9	35	2.2	1247.1	89.2	163.7	351.2	40.58	155.6	28.85	1.87	23.43	3.31
REP SF PL013050	QC																				
Reference Materials																					
STD DS10	Standard																				
STD GS311-1	Standard																				
STD GS910-4	Standard																				
STD OREAS45EA	Standard																				
STD SO-18	Standard	8.3	19.1	26.8	14	382.4	7.1	8.6	16.3	197	11.0	286.9	28.0	12.6	25.8	3.16	13.2	2.50	0.79	3.03	0.50
STD SO-18	Standard	10.2	20.3	28.0	14	432.9	6.6	10.8	16.4	212	17.3	313.7	33.7	14.4	28.6	3.50	13.6	2.96	0.83	3.09	0.53
STD SO-18	Standard	9.2	20.5	28.6	14	416.6	6.7	9.3	14.9	207	15.2	291.9	30.7	12.4	24.4	3.25	12.5	2.79	0.89	3.13	0.46
STD DS10 Expected																					
STD OREAS45EA Expected																					
STD GS311-1 Expected																					
STD GS910-4 Expected																					
STD SO-18 Expected																					
		9.8	19.3	28.7	15	407.4	7.4	9.9	16.4	200	14.8	290	29	12.3	27.1	3.45	14	3	0.89	2.93	0.53
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<0.5	<0.1	<0.2	<0.1	<8	<0.5	0.7	<0.1	0.1	<0.1	<0.02	<0.3	<0.05	<0.02	<0.05	<0.01
BLK	Blank	<0.1	0.3	<0.1	<1	<0.5	<0.1	<0.2	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.02	<0.3	<0.05	<0.02	<0.05	<0.01

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports @ unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 1 of 1

Part: 3 of 4

QUALITY CONTROL REPORT VAN13005294.1

Method	Analyte	4A-4B Dy	4A-4B Ho	4A-4B Er	4A-4B Tm	4A-4B Yb	4A-4B Lu	2A Leco TOT/C	2A Leco TOT/S	1DX Mo	1DX Cu	1DX Pb	1DX Zn	1DX Ni	1DX As	1DX Cd	1DX Sb	1DX Bi	1DX Ag	1DX Au	1DX Hg
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm
MDL		0.05	0.02	0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.01
SF PL013036	Sediment Pulp	40.69	8.00	23.41	3.49	22.59	3.10	1.93	<0.02	0.2	4.7	13.5	60	6.7	2.1	0.6	<0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.04
Pulp Duplicates																					
SF PL013030	Sediment Pulp	30.79	5.67	16.25	2.26	13.74	2.00	1.52	<0.02	<0.1	3.3	11.9	48	5.1	0.9	0.3	<0.1	0.5	<0.1	<0.5	0.03
REP SF PL013030	QC	29.30	5.61	15.33	2.23	14.52	2.06														
SF PL013034	Sediment Pulp	18.59	4.17	13.47	2.17	13.78	2.04	0.02	<0.02	2.8	9.4	32.6	48	1.2	16.3	0.1	0.4	0.3	<0.1	<0.5	0.01
REP SF PL013034	QC	18.24	4.32	13.62	2.10	14.53	2.02														
SF PL013050	Sediment Pulp	17.80	3.28	9.07	1.41	9.35	1.43	1.29	0.02	0.3	8.6	20.2	70	8.4	1.2	0.2	<0.1	0.2	<0.1	2.0	0.03
REP SF PL013050	QC							1.28	0.02	0.2	9.4	18.7	78	9.1	1.8	0.3	<0.1	0.2	<0.1	1.9	0.03
Reference Materials																					
STD DS10	Standard									13.3	158.6	137.5	371	72.2	46.2	2.3	6.2	11.0	2.3	69.1	0.29
STD GS311-1	Standard							0.99	2.18												
STD GS910-4	Standard							2.65	8.03												
STD OREAS45EA	Standard									1.5	690.2	14.4	27	386.5	8.2	<0.1	0.2	0.3	0.2	58.9	<0.01
STD SO-18	Standard	3.04	0.62	1.65	0.27	1.65	0.27														
STD SO-18	Standard	3.23	0.62	1.82	0.29	1.93	0.28														
STD SO-18	Standard	2.95	0.54	1.79	0.28	1.95	0.29														
STD DS10 Expected										14.69	154.61	150.55	352.9	74.6	43.7	2.48	7.8	11.65	1.96	91.9	0.289
STD OREAS45EA Expected										1.39	709	14.3	28.9	381	9.1	0.02	0.2	0.26	0.26	53	
STD GS311-1 Expected								1.02	2.35												
STD GS910-4 Expected								2.65	8.27												
STD SO-18 Expected		3	0.62	1.84	0.27	1.79	0.27														
BLK	Blank									<0.1	<0.1	<0.1	<1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.01
BLK	Blank							<0.02	<0.02												
BLK	Blank	<0.05	<0.02	<0.03	<0.01	<0.05	<0.01														
BLK	Blank	<0.05	<0.02	<0.03	<0.01	<0.05	<0.01														

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 06, 2014

Page: 1 of 1

Part: 4 of 4

QUALITY CONTROL REPORT

VAN13005294.1

	Method Analyte	1DX	1DX
		Tl	Se
	Unit	ppm	ppm
	MDL	0.1	0.5
SF PL013036	Sediment Pulp	0.4	<0.5
Pulp Duplicates			
SF PL013030	Sediment Pulp	0.3	<0.5
REP SF PL013030	QC		
SF PL013034	Sediment Pulp	<0.1	0.6
REP SF PL013034	QC		
SF PL013050	Sediment Pulp	0.4	<0.5
REP SF PL013050	QC	0.3	0.6
Reference Materials			
STD DS10	Standard	4.4	2.1
STD GS311-1	Standard		
STD GS910-4	Standard		
STD OREAS45EA	Standard	<0.1	0.7
STD SO-18	Standard		
STD SO-18	Standard		
STD SO-18	Standard		
STD DS10 Expected		4.79	2.3
STD OREAS45EA Expected		0.072	0.6
STD GS311-1 Expected			
STD GS910-4 Expected			
STD SO-18 Expected			
BLK	Blank	<0.1	<0.5
BLK	Blank		
BLK	Blank		
BLK	Blank		

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports @ unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 08, 2014

Page: 2 of 2

Part: 1 of 6

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005297.1

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	Ga
Unit		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL		0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	0.5	
SM PL013001	Rock Pulp	8.78	3.13	37.41	0.38	2.16	0.08	0.19	42.97	2.12	2.53	0.005	<20	45	-3.0	96.72	34	<1	20.7	0.3	9.5
SM PL013003	Rock Pulp	3.89	1.06	37.68	0.11	2.95	<0.01	0.12	47.27	3.36	2.61	0.008	<20	32	-3.3	95.79	17	<1	18.7	0.4	8.5
SM PL013005	Rock Pulp	12.98	5.69	35.86	0.79	4.29	0.06	0.17	34.81	2.62	2.50	0.007	<20	64	-2.6	97.20	31	<1	18.3	0.3	13.3
SM PL013007	Rock Pulp	7.23	2.74	38.40	0.45	2.57	0.02	0.09	43.70	2.07	2.68	0.007	<20	47	-3.3	96.65	26	<1	17.6	0.2	10.2
SM PL013009	Rock Pulp	26.32	7.33	26.90	3.52	10.20	0.42	0.45	17.83	2.97	1.45	0.012	<20	108	-0.3	97.11	112	2	22.2	0.6	19.6
SM PL013011	Rock Pulp	7.16	2.00	37.33	0.35	2.57	0.12	0.30	46.29	1.59	3.18	0.005	<20	29	-2.9	98.06	55	1	23.9	0.8	10.0
SM PL013013	Rock Pulp																				
SM PL013015	Rock Pulp																				
SM PL013017	Rock Pulp	10.25	4.74	36.63	0.54	3.46	0.03	0.17	38.43	2.97	2.66	0.007	<20	55	-2.8	97.05	24	<1	21.0	0.6	9.4
SM PL013019	Rock Pulp	5.44	1.86	34.02	0.18	6.23	0.03	0.25	41.73	5.35	2.62	0.007	<20	31	-2.4	95.34	26	2	23.5	1.1	8.2
SM PL013021	Rock Pulp	4.72	1.35	36.69	0.14	4.28	0.03	0.17	45.27	3.98	2.31	0.005	<20	34	-2.9	96.05	29	<1	19.9	0.4	8.4
SM PL013023	Rock Pulp	6.47	2.61	34.95	0.28	5.58	0.01	0.17	39.34	5.35	2.39	0.008	<20	42	-2.1	95.03	20	<1	16.0	0.4	10.4
SM PL013025	Rock Pulp	3.57	1.12	37.46	0.11	2.55	<0.01	0.12	46.58	3.47	2.63	0.008	<20	34	-2.8	94.79	14	<1	17.6	0.2	7.1
SM PL013027	Rock Pulp	5.11	1.98	37.31	0.14	2.36	<0.01	0.14	45.72	2.71	3.14	0.005	<20	32	-2.7	95.92	16	2	23.4	0.4	9.3
SM PL013029	Rock Pulp	11.11	5.22	34.36	0.34	3.29	0.16	0.21	37.72	3.23	2.69	0.006	<20	58	-2.3	96.00	19	2	26.9	1.4	15.6
SM PL013031	Rock Pulp	8.93	3.10	36.93	0.37	2.15	0.08	0.20	42.97	2.14	2.51	0.007	<20	45	-2.7	96.72	33	<1	21.2	0.3	10.9
SM PL013035	Rock Pulp	8.02	3.58	38.94	0.33	4.48	0.04	0.19	37.46	4.06	2.43	0.004	<20	46	-3.0	96.56	20	<1	25.8	0.9	6.4
SM PL013037	Rock Pulp	4.24	1.26	35.65	0.12	4.29	0.03	0.23	44.69	4.56	2.41	0.006	<20	29	-2.6	94.92	23	<1	20.1	0.4	7.7
SM PL013039	Rock Pulp	7.94	3.34	36.29	0.31	3.71	0.02	0.16	40.46	3.66	2.50	0.010	<20	44	-2.4	96.04	19	<1	27.0	0.6	10.6
SM PL013041	Rock Pulp	3.84	1.07	37.93	0.11	1.95	<0.01	0.12	47.06	3.10	2.52	0.007	<20	31	-3.0	94.69	18	<1	19.3	0.5	8.1
SM PL013043	Rock Pulp	2.51	0.71	38.13	0.07	2.17	<0.01	0.10	49.78	3.03	2.48	0.006	<20	27	-3.1	95.86	14	<1	26.6	0.4	7.1
SM PL013045	Rock Pulp	4.69	1.28	42.33	0.20	2.45	0.10	0.14	44.38	2.14	2.51	0.006	<20	36	-3.2	97.07	30	<1	18.4	0.4	5.2
SM PL013047	Rock Pulp	5.93	1.11	34.44	0.14	4.07	0.02	0.06	40.49	4.50	2.30	0.011	<20	48	-2.9	90.16	15	<1	15.2	0.3	7.4
SM PL013049	Rock Pulp	10.01	2.13	26.50	0.28	10.99	0.19	0.18	29.38	9.62	1.90	0.013	<20	47	-1.6	89.61	41	2	12.5	0.6	8.6
SM PL013053	Rock Pulp																				

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 08, 2014

Page: 2 of 2

Part: 2 of 6

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005297.1

Method	Analyte	4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B		4A-4B	
		Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	4A-4B	
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL		0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	0.01		
SM PL013001	Rock Pulp	234.1	688.7	10.1	17	28.0	77.7	751.3	296.1	13	121.7	8603.3	5636.3	1249.9	2539.0	331.79	1310.8	315.93	5.06	427.27	97.86		
SM PL013003	Rock Pulp	277.8	579.8	6.9	9	11.4	50.8	903.5	253.6	<8	69.7	10992.3	8341.8	1602.5	3229.6	423.06	1692.8	413.51	6.08	587.88	135.37		
SM PL013005	Rock Pulp	211.4	641.5	10.5	29	137.7	66.1	696.2	210.9	50	59.7	7661.1	4354.8	1062.0	2225.8	295.92	1187.1	287.00	8.12	370.11	83.62		
SM PL013007	Rock Pulp	253.5	726.7	6.7	56	75.7	82.3	739.4	257.6	20	102.7	10017.7	5266.7	1209.3	2493.5	325.55	1292.6	309.98	7.01	416.80	94.08		
SM PL013009	Rock Pulp	313.9	444.7	14.2	76	330.2	40.9	670.4	135.8	263	128.4	12670.7	1624.5	804.7	1839.3	254.17	1052.0	237.72	19.24	225.90	40.32		
SM PL013011	Rock Pulp	145.0	705.0	16.6	23	77.3	85.5	603.7	98.4	34	128.6	5266.6	1491.1	1040.1	2041.7	253.74	954.7	178.45	4.02	175.82	31.51		
SM PL013013	Rock Pulp																						
SM PL013015	Rock Pulp																						
SM PL013017	Rock Pulp	238.4	577.7	11.0	25	21.0	66.5	734.6	224.5	<8	80.9	8821.9	3895.1	1234.6	2531.7	328.39	1299.3	296.56	4.25	355.09	77.00		
SM PL013019	Rock Pulp	363.3	603.6	18.1	18	23.0	63.6	1259.3	367.9	<8	71.1	13974.9	6111.6	2161.7	4605.4	572.57	2228.1	500.64	6.72	596.13	120.84		
SM PL013021	Rock Pulp	320.4	572.7	10.0	12	20.5	54.9	975.2	223.8	<8	92.9	12330.2	5460.4	1746.2	3467.8	453.87	1780.5	400.64	5.48	488.52	102.89		
SM PL013023	Rock Pulp	393.4	513.1	9.7	7	17.4	46.6	1272.6	269.6	<8	146.1	15059.3	7415.3	2160.9	4681.5	582.93	2312.6	522.64	6.39	642.28	135.50		
SM PL013025	Rock Pulp	344.1	560.6	7.4	6	10.3	47.8	1184.8	306.4	<8	94.0	13018.1	10498.4	2046.1	4418.9	553.74	2204.5	542.14	7.11	749.56	173.46		
SM PL013027	Rock Pulp	325.1	642.5	9.1	12	8.2	69.0	1106.8	246.8	<8	103.0	12413.7	5078.1	1852.6	3962.6	493.67	1922.5	423.83	5.06	488.82	100.69		
SM PL013029	Rock Pulp	350.8	759.6	21.9	17	11.5	105.5	1211.2	324.0	<8	119.7	12739.8	3689.4	1839.9	4096.8	502.94	1942.9	425.01	4.24	442.09	86.02		
SM PL013031	Rock Pulp	236.0	676.2	10.9	17	29.3	76.6	782.7	316.4	15	123.4	8529.5	5581.7	1251.6	2571.4	336.76	1323.6	320.21	5.23	429.06	99.58		
SM PL013035	Rock Pulp	274.1	687.9	17.9	14	14.1	77.7	950.6	231.4	52	106.3	9947.2	4244.0	1564.8	3381.5	429.82	1652.9	362.86	4.23	410.57	87.28		
SM PL013037	Rock Pulp	367.0	600.0	12.7	7	13.0	51.2	1281.7	300.0	<8	66.7	13650.1	8946.8	2089.7	4540.7	561.03	2208.4	531.98	6.47	706.94	158.07		
SM PL013039	Rock Pulp	299.1	612.8	12.1	13	13.8	68.8	1006.5	300.1	<8	83.3	11204.0	6205.0	1639.0	3381.6	440.35	1746.5	406.66	4.92	519.19	115.89		
SM PL013041	Rock Pulp	346.4	571.7	7.8	7	8.0	53.5	1215.6	318.4	<8	134.9	12921.7	11158.4	1988.2	4246.0	534.75	2120.3	530.33	7.01	781.90	184.24		
SM PL013043	Rock Pulp	202.6	698.8	7.2	8	8.9	59.7	760.9	314.6	<8	125.7	7295.2	11309.2	1199.9	2475.6	323.88	1340.7	402.49	5.67	708.09	185.12		
SM PL013045	Rock Pulp	292.7	771.7	8.4	85	15.6	90.2	658.6	104.1	46	100.1	11458.3	1494.6	1329.8	2746.4	331.64	1243.4	230.09	3.18	217.04	36.01		
SM PL013047	Rock Pulp	1190.1	648.4	5.0	20	19.1	78.6	2686.0	250.4	15	102.0	44692.9	2730.4	5445.7	11247.9	1301.92	4879.1	859.66	9.15	697.46	93.27		
SM PL013049	Rock Pulp	1171.1	420.8	10.6	54	48.3	56.7	2689.4	304.7	18	72.2	45268.0	4491.6	5545.7	11406.7	1330.63	5083.2	945.56	11.08	841.76	127.55		
SM PL013053	Rock Pulp																						

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 08, 2014

Page: 2 of 2

Part: 3 of 6

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005297.1

Method	Analyte	Unit	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B 2A	Leco	Leco	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX
			Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	TOT/C	TOT/S	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg
		MDL	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm
SM PL013001	Rock Pulp		802.57	190.97	636.39	96.75	617.00	87.84	0.04	<0.02	0.2	3.2	26.4	51	1.1	<0.5	0.2	<0.1	0.7	<0.1	0.7	<0.01
SM PL013003	Rock Pulp		1124.27	281.84	964.75	151.40	966.44	140.14	0.05	<0.02	0.1	5.1	36.9	45	1.7	<0.5	0.3	0.1	0.3	<0.1	0.8	<0.01
SM PL013005	Rock Pulp		661.72	153.41	491.92	74.50	469.97	66.58	0.07	<0.02	0.4	3.5	44.9	62	2.2	<0.5	0.4	<0.1	0.6	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013007	Rock Pulp		753.76	180.93	599.36	92.77	589.28	83.81	0.06	<0.02	0.3	3.1	29.2	57	1.4	<0.5	0.3	<0.1	0.6	<0.1	1.1	<0.01
SM PL013009	Rock Pulp		275.21	56.65	176.87	26.17	164.48	22.99	0.09	<0.02	1.2	9.0	81.0	72	5.9	<0.5	0.5	0.1	0.5	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013011	Rock Pulp		225.28	51.11	167.50	25.47	163.86	23.19	0.07	<0.02	0.2	2.6	41.2	112	1.3	<0.5	0.2	<0.1	0.7	<0.1	1.0	<0.01
SM PL013013	Rock Pulp								0.07	<0.02	0.5	26.7	35.9	79	9.0	1.4	1.8	0.2	0.6	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013015	Rock Pulp								0.03	<0.02	0.4	19.8	22.1	40	5.8	<0.5	2.2	0.1	1.1	<0.1	0.8	*
SM PL013017	Rock Pulp		595.11	138.47	456.95	68.93	439.75	62.69	0.06	<0.02	0.1	2.9	66.8	71	1.3	<0.5	0.4	<0.1	0.7	<0.1	0.6	<0.01
SM PL013019	Rock Pulp		908.30	211.55	684.29	104.13	667.52	94.72	0.04	<0.02	0.1	5.3	130.3	112	1.6	<0.5	0.4	0.2	1.2	<0.1	1.1	<0.01
SM PL013021	Rock Pulp		805.20	193.40	646.68	98.87	625.31	91.81	0.05	<0.02	0.1	4.0	37.5	74	1.7	<0.5	0.2	0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.02
SM PL013023	Rock Pulp		1066.92	258.76	856.19	131.77	834.28	120.60	0.06	<0.02	0.1	3.8	28.9	65	1.5	<0.5	0.6	<0.1	0.3	<0.1	1.7	<0.01
SM PL013025	Rock Pulp		1415.96	362.77	1252.58	196.47	1250.57	183.52	0.03	<0.02	0.3	3.4	24.9	48	1.1	<0.5	0.2	<0.1	0.4	<0.1	0.7	<0.01
SM PL013027	Rock Pulp		746.83	175.66	567.64	86.46	543.98	78.79	0.03	<0.02	0.1	2.4	26.2	90	1.2	<0.5	0.3	<0.1	1.3	<0.1	1.8	<0.01
SM PL013029	Rock Pulp		603.41	130.11	403.81	60.46	378.70	52.11	0.04	<0.02	0.2	2.6	84.9	144	1.6	<0.5	0.8	0.2	4.3	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013031	Rock Pulp		796.95	193.57	644.65	99.14	627.50	90.32	0.04	<0.02	0.2	3.1	27.0	54	1.1	<0.5	0.2	<0.1	0.8	<0.1	0.7	<0.01
SM PL013035	Rock Pulp		626.66	151.25	473.42	70.28	433.25	63.72	0.04	<0.02	0.1	4.0	39.4	82	2.0	<0.5	0.4	<0.1	1.5	<0.1	0.9	<0.01
SM PL013037	Rock Pulp		1253.64	312.34	1075.44	170.06	1090.51	159.81	0.05	<0.02	0.1	3.1	30.3	70	2.3	<0.5	0.3	<0.1	0.4	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013039	Rock Pulp		898.05	215.97	716.03	108.41	673.27	96.91	0.05	<0.02	0.2	4.0	54.2	84	1.4	<0.5	0.5	0.1	1.4	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013041	Rock Pulp		1499.39	384.82	1339.46	209.21	1326.55	194.07	0.04	<0.02	0.1	4.3	29.1	50	1.7	<0.5	0.2	<0.1	0.4	<0.1	<0.5	<0.01
SM PL013043	Rock Pulp		1529.09	390.77	1340.86	209.58	1334.90	195.83	0.05	<0.02	0.1	3.2	35.7	59	1.1	<0.5	0.4	<0.1	0.6	<0.1	1.4	<0.01
SM PL013045	Rock Pulp		223.46	49.64	161.79	25.77	169.18	26.08	0.04	<0.02	0.3	23.2	510.5	47	6.4	<0.5	0.2	1.0	0.6	<0.1	0.7	<0.01
SM PL013047	Rock Pulp		511.39	98.79	307.51	45.97	302.43	45.98	0.03	<0.02	0.1	3.0	59.6	47	1.2	<0.5	0.3	0.2	0.5	<0.1	1.3	<0.01
SM PL013049	Rock Pulp		774.09	162.98	535.04	85.28	566.60	89.78	0.07	<0.02	0.2	7.6	663.5	73	2.5	<0.5	0.5	0.7	0.5	<0.1	1.1	0.02
SM PL013053	Rock Pulp								0.05	<0.02	0.6	15.8	17.1	56	5.4	<0.5	1.8	<0.1	0.4	<0.1	<0.5	<0.01

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval. preliminary reports are unassigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 08, 2014

Page: 2 of 2

Part: 4 of 6

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005297.1

Method	1DX	1DX	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
Analyte	Ti	Se	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	
Unit	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.1	0.5	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	
SM PL013001	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013003	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013005	Rock Pulp	<0.1	0.7																		
SM PL013007	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013009	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013011	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013013	Rock Pulp	0.3	1.0	7.09	1.83	7.68	0.42	33.42	0.12	0.60	8.41	29.38	0.50	0.009	<20	28	1.6	91.02	40	<1	7.8
SM PL013015	Rock Pulp	0.1	1.1	3.93	1.04	11.64	0.22	35.61	0.11	0.28	9.96	28.99	0.76	0.006	<20	19	0.7	93.25	18	<1	6.9
SM PL013017	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013019	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013021	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013023	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013025	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013027	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013029	Rock Pulp	0.1	<0.5																		
SM PL013031	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013035	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013037	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013039	Rock Pulp	<0.1	2.0																		
SM PL013041	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013043	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013045	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013047	Rock Pulp	<0.1	0.6																		
SM PL013049	Rock Pulp	<0.1	<0.5																		
SM PL013053	Rock Pulp	0.4	2.2	7.11	2.53	9.66	0.78	37.18	0.14	0.98	6.28	28.72	0.34	0.007	<20	20	1.2	94.96	59	<1	7.2

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 08, 2014

Page: 2 of 2

Part: 5 of 6

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005297.1

Method	Analyte	Unit	MDL	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
				Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SM PL013001	Rock Pulp																							
SM PL013003	Rock Pulp																							
SM PL013005	Rock Pulp																							
SM PL013007	Rock Pulp																							
SM PL013009	Rock Pulp																							
SM PL013011	Rock Pulp																							
SM PL013013	Rock Pulp			2.8	11.1	1050.8	121.9	45.1	3	78.6	7.9	2204.0	305.5	<8	33.2	40097.5	4960.3	3838.5	8950.3	1051.37	4148.5	920.97	13.42	
SM PL013015	Rock Pulp			1.9	5.1	660.1	173.3	25.1	5	69.0	16.8	1941.1	372.2	<8	368.0	23925.6	6409.4	3180.9	7322.6	922.60	3630.2	792.42	10.64	
SM PL013017	Rock Pulp																							
SM PL013019	Rock Pulp																							
SM PL013021	Rock Pulp																							
SM PL013023	Rock Pulp																							
SM PL013025	Rock Pulp																							
SM PL013027	Rock Pulp																							
SM PL013029	Rock Pulp																							
SM PL013031	Rock Pulp																							
SM PL013035	Rock Pulp																							
SM PL013037	Rock Pulp																							
SM PL013039	Rock Pulp																							
SM PL013041	Rock Pulp																							
SM PL013043	Rock Pulp																							
SM PL013045	Rock Pulp																							
SM PL013047	Rock Pulp																							
SM PL013049	Rock Pulp																							
SM PL013053	Rock Pulp			3.3	6.9	671.0	98.3	78.5	6	77.4	10.0	1008.1	148.5	<8	73.2	24553.2	1713.8	1986.3	4472.9	581.49	2388.6	552.68	7.09	

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports @# are signed and should be used for reference only.



www.acmelab.com

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
 PHONE (604) 253-3158

Client: University of Leoben
 Mineralogie und Petrologie
 Peter Tunner - Str. 5
 Leoben A-8700 AUSTRIA

Project: P062-F-01-05
Report Date: February 08, 2014

Page: 2 of 2

Part: 6 of 6

CERTIFICATE OF ANALYSIS

VAN13005297.1

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL		0.05	0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.05	0.01
SM PL013001	Rock Pulp								
SM PL013003	Rock Pulp								
SM PL013005	Rock Pulp								
SM PL013007	Rock Pulp								
SM PL013009	Rock Pulp								
SM PL013011	Rock Pulp								
SM PL013013	Rock Pulp	886.46	145.25	885.71	192.25	580.04	85.91	522.11	72.07
SM PL013015	Rock Pulp	823.81	163.77	1101.70	256.86	775.16	107.94	626.07	92.26
SM PL013017	Rock Pulp								
SM PL013019	Rock Pulp								
SM PL013021	Rock Pulp								
SM PL013023	Rock Pulp								
SM PL013025	Rock Pulp								
SM PL013027	Rock Pulp								
SM PL013029	Rock Pulp								
SM PL013031	Rock Pulp								
SM PL013035	Rock Pulp								
SM PL013037	Rock Pulp								
SM PL013039	Rock Pulp								
SM PL013041	Rock Pulp								
SM PL013043	Rock Pulp								
SM PL013045	Rock Pulp								
SM PL013047	Rock Pulp								
SM PL013049	Rock Pulp								
SM PL013053	Rock Pulp	495.18	78.14	396.74	72.25	195.69	27.67	166.87	27.77

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

Abbildung C: Sicherheitsdatenblatt für den Umgang mit Natriumolywolframat.

**Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006**



Handelsname: Natriummetawolframat / Natrium Polywolframat

Bearbeitet am: Februar 2013

Druckdatum: Februar 2013

Version: 02/2013

01. Bezeichnung des Stoffes bzw. Zubereitung und Firmenbezeichnung

Handelsname: Natriummetawolframat / Natriummetawolframat Hydrat /
Natrium Polywolframat

Verwendung des Stoffes/der Zubereitung: durch Auflösen des Stoffes in Wasser
kann die Lösung als Schwerflüssigkeit verwendet werden

Hersteller/Lieferant: TC-Tungsten Compounds

Straße: Tannenweg 2

PLZ/Ort: D-96271 Grub am Forst

Kontaktstelle für technische Informationen:

Ansprechpartner: Dr. Rainer Kamps

Tel.: +49 (0)9560-742

Fax: +49 (0)9560-1707

e-mail: service@heavy-liquid.com

Notfallauskunft von 00.00 bis 24.00 Uhr:

Universitätsklinikum Bonn-Informationszentrale gegen Vergiftungen-: Tel. 0049 (0) 228-19 240

02. Mögliche Gefahren

GHS-Einstufung und Kennzeichnung nach Richtlinie (EG) Nr. 1272/2008

Signalwort: Achtung

Gefahrenklasse und Kategorie: Kat. 4, H302, H318, H412

Gefahrensymbol: GHS07, GHS05



Mögliche Gefahren für Mensch und Umwelt

Gesundheitsschädlich beim Verschlucken. Gefahr ernster Augenschäden.

Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche
Wirkungen haben.

03. Zusammensetzung/Angaben zu den Bestandteilen

Chemische Charakterisierung

Hexasodium tungstate / Hexasodium tungstate hydrate,

Natriummetawolframat / Natriummetawolframat Hydrat / Natrium Polywolframat

CAS-Nr.: 12333-13-0; CAS-Nr.: 12141-67-2; EG-Nr.: 412-770-9;

Index-Nr.: 074-001-00-X

Gefährliche Inhaltsstoffe

Hexasodium tungstate / Hexasodium tungstate hydrate, Natriummetawolframat /

Natriummetawolframat Hydrat / Natrium Polywolframat : Anteil: > 99 %

Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006



Handelsname: Natriummetawolframat / Natrium Polywolframat
Bearbeitet am: Februar 2013
Druckdatum: Februar 2013

Version: 02/2013

04. Erste - Hilfe - Maßnahmen
Allgemeine Hinweise

Nach Einatmen

Nach Inhalation an frische Luft bringen. Symptomatische Behandlung

Nach Hautkontakt

Bei Berührung mit der Haut sofort mit viel Wasser abwaschen

Nach Augenkontakt

Bei Augenkontakt die Augen bei geöffneten Lidern mindestens 15 Minuten mit Wasser spülen. Arzt konsultieren.

Nach Verschlucken

Bei Verschlucken von Produkt reichlich Wasser trinken lassen. Erbrechen auslösen. Symptomatische Behandlung. Arzt konsultieren.

05. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Geeignete Löschmittel

Keine Einschränkung bei Umgebungsbrand

Besondere Gefährdung durch den Stoff oder die Zubereitung selbst, seine Verbrennungsprodukte oder entstehende Gase

Bei Brand Entstehung von Wolframtrioxid (Feststoff)

Besondere Schutzausrüstung bei der Brandbekämpfung

Schutzausrüstung auf Umgebungsbrand abstimmen

06. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen

Haut und Augenkontakt vermeiden, Die in Kapitel 8 genannte persönliche Schutzausrüstung verwenden

Umweltschutzmaßnahmen

Nicht in Kanalisation oder Gewässer gelangen lassen

Verfahren zur Reinigung/ Aufnahme

Stoff vor dem Aufnehmen anfeuchten bzw. mit feuchtem inertem Material abdecken.

Verschüttetes Produkt mechanisch aufnehmen. Staubbildung vermeiden. In gekennzeichnete, verschließbare Behälter füllen. TRGS 200/201 beachten.

Zusätzliche Hinweise

Allgemeine Hinweise im Umgang mit Chemikalien beachten

07. Handhabung und Lagerung

Hinweise zum sicheren Umgang

Haut - und Augenkontakt vermeiden. Die in Kapitel 8 genannte persönliche Schutzausrüstung verwenden

Hinweise zum Brand und Explosionsschutz

keine



Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006



Handelsname: Natriummetawolframat / Natrium Polywolframat
Bearbeitet am: Februar 2013
Druckdatum: Februar 2013

Version: 02/2013

Angaben zu den Lagerbedingungen

Empfohlen wird: Für das Ab - und Umfüllen staubdicht schließende Anlagen einsetzen

Anforderungen an Lagerräume und Behälter

Nur im Originalbehälter aufbewahren

Lagerklasse (nach VCI): 13 (Produkt darf in einem Lagerabschnitt gelagert werden)

08. Begrenzung und Überwachung der Expositionsbegrenzung / Persönliche Schutzausrüstungen

Begrenzung und Überwachung der Exposition

Zur Expositionsbegrenzung siehe Kapitel 02

Persönliche Schutzausrüstung

Schutzkleidung tragen

Atemschutz

Beim Abfüllen Staubmaske bzw. Filtergerät mit Filtertyp P nach DIN EN 143

Handschutz

Schutzhandschuhe tragen z.B. Einmal-Schutzhandschuhe Kat. III nach EN 374

Augenschutz

Dichtschießende Schutzbrille (Korbbrille, Säureschutzbrille) tragen

Angaben zur Arbeitshygiene

Bei der Arbeit nicht Essen und Trinken. Nicht Rauchen. Von Nahrungsmittel und Getränken fernhalten.

09. Physikalische und chemische Eigenschaften

Erscheinungsbild

Kristallines Pulver oder Granulat bzw. wässrige Lösung

Aggregatzustand

Fest oder flüssig

Farbe

Weiß bis grauer Feststoff oder farblose bis leicht grünlich, bräunliche Lösung

Geruch

Neutral

Sicherheitsrelevante Daten

Explosionsgefahr: nicht relevant

Untere Explosionsgrenze: nicht relevant

Obere Explosionsgrenze: nicht relevant

Dampfdruck: nicht relevant

Dichte: 5,47 g/cm³ bei 20 °C

Schüttdichte: ca. 1570 kg/m³

Auslaufzeit: nicht relevant,

Wasserlöslichkeit: > 1000 g/l bei 20 °C

Löslichkeit in Fett: < 0,7 mg/100 g Fett bei 37 °C

pH-Wert: ca. 3 bei 4000 g/l Wasser bei 20 °C





Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

Handelsname: Natriummetawolframat / Natrium Polywolframat
Bearbeitet am: Februar 2013
Druckdatum: Februar 2013

Version: 02/2013

Siedepunkt: nicht relevant, bei wässrigen Lösungen abhängig von der Dichte
Flammpunkt: nicht relevant
Zündtemperatur: nicht relevant
Schmelztemperatur: nicht relevant
Entzündlichkeit: nein
Selbstentzündlichkeit: nein
Brandfördernde Eigenschaften: nein
Verteilungskoeffizient n-Oktanol/Wasser: Log POW = < - 5,2 bei 20 °C

10. Stabilität und Reaktivität

Zu vermeidende Bedingungen

Keine bekannt

Zu vermeidende Stoffe

Keine bekannt

Gefährliche Zersetzungsprodukte

Bei Brand entsteht der Feststoff Wolframtrioxid

11. Toxikologische Angaben

Toxikologische Prüfungen

Akute Toxizität: LD₅₀ oral, Ratte: 1715 mg/kg

Akute Toxizität: LD₅₀ dermal, Ratte: > 2000 mg/kg

Reizung der Haut/Kaninchen (Exposition 4 h) : nicht reizend

(Methode: Richtlinie 84/449/EWG, B. 4.)

Reizung der Augen/Kaninchen: reizend

(Methode: Richtlinie 84/449/EWG, B. 5.).

Maximierungstest nach Magnusson/Kligman: nicht sensibilisierend

(Methode: Richtlinie 84/449/EWG, B. 6.).

Wirkung nach wiederholter oder länger andauernder Exposition

Subakute Toxizität:

NOEL, oral, Ratte: 150 mg/kg (28 Tage-Test)

Erbgutverändernde Wirkung:

Salmonella/Mikrosomen-Test (Ames-Test): keine Hinweise auf mutagene Wirkung

Micronucleus-Test: Keine Hinweise auf eine clastogene Wirkung

Erfahrungen aus der Praxis

Material kommt ausschließlich als wässrige Lösung zum Einsatz

Angaben zu den Inhaltsstoffen

Keine weiteren Inhaltsstoffe > 0,1 % vorhanden

Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006



Handelsname: Natriummetawolframat / Natrium Polywolframat
Bearbeitet am: Februar 2013
Druckdatum: Februar 2013

Version: 02/2013

12. Umweltbezogenen Angaben

Ökologie

Aquatische Toxizität

Akute Fischtoxizität: 96 h LC₀ (Cyprinus carpio): 320 mg/l
96 h LC₅₀ (Cyprinus carpio): 420 mg/l

Akute Daphnientoxizität: 48 h NOEC (Daphnia magna): 32 mg/l
48 h EC₅₀ (Daphnia magna): 83,4 mg/l

Persistenz

Nicht ermittelt

Bioakkumulationspotential

Nicht ermittelt

Andere schädliche Wirkungen

Nicht bekannt

13. Hinweise zur Entsorgung

Stoff/Zubereitung

Ungebrauchtes Material: Wenn möglich, Wiederverwendung zuführen,
Hersteller ansprechen

Empfehlung

Kann unter Beachtung der örtlichen behördlichen Vorschriften auf geeigneter Deponie
entsorgt werden

Abfallschlüssel gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)

Abfallschlüssel - Nr. 51540

Verpackung/Verunreinigte Verpackung

Ungereinigte Verpackungen sind wie der Stoff zu entsorgen

14. Angaben zum Transport

GGVSee/IMDG - Code: -- UN - Nr.: -- MFAG: -- EmS: --

PG: -- MPO: NO

GGVSE: Kl. -- PG: -- RID/ADR: Kl. -- PG: --

Warntafel: Gefahr - Nr.: -- Stoff - Nr.: -- ADNR: Kl. -- PG --

ICAO/IATA - DGR: not restr.

Expressgut Deutschland zugelassen (gem. GGVSE): ja

Deklaration Land: --

Deklaration See: --

Deklaration Luft: --

Sonstige Angaben: Kein gefährliches Transportgut., Getrennt von Nahrungs-
und Genussmittel halten.

Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006



Handelsname: Natriummetawolframat / Natrium Polywolframat
Bearbeitet am: Februar 2013
Druckdatum: Februar 2013

Version: 02/2013

15. Rechtsvorschriften

GHS-Kennzeichnung nach Richtlinie (EG) Nr. 1272/2008

Signalwort: Achtung

Kategorie und Gefahrenklasse: Kat. 4, H302, H318, H412

Gefahrenklasse: GHS07, GHS05

H-Sätze nach GHS / (R-Sätze):

H302 / (R22): Gesundheitsschädlich beim Verschlucken

H318 / (R41): Gefahr ernster Augenschäden

H412 / (R52/53): Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben

P-Sätze nach GHS / (S-Sätze):

P202 / S2: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen / Von Kindern fernhalten

P260 / S22: Staub nicht einatmen

P305+P351+P338 / S26: Bei Berührung mit den Augen gründlich mit Wasser abspülen und wenn nötig Arzt konsultieren

P280 / S39: Schutzhandschuhe, Schutzkleidung, Augenschutz tragen / Schutzbrille tragen

P273 / S61: Freisetzung in die Umwelt vermeiden

Nationale Vorschriften

TRGS 900 „Luftgrenzwerte“: Wolframverbindungen, löslich,

Grenzwert: 1 mg/m³ E; Bemerkung: 1,25

Beschäftigungsbeschränkung: Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG) § 22

Mutterschutzrichtlinienverordnung (MuSchRiV) § 5

Störfall-Verordnung (12. BImSchV): nicht gelistet in den Anhängen

Verordnung brennbarer Flüssigkeiten: nicht anwendbar

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft: Ziffer 3.1.3 (Gesamtstaub)

Wassergefährdungsklasse (WGK): 2 - wassergefährdend

Andere Länder: nationale Regelungen beachten

16. Sonstige Angaben

Vom Hersteller empfohlene Verwendungsbeschränkung

Nur für Laborzwecke geeignet. Darf nur von Personen mit fachkundigem

Kenntnissen verwendet werden.

Wässrige Lösungen des Salzes sind ausschließlich als Schwerflüssigkeit zu verwenden.

Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand der Kenntnisse und Erfahrungen. Das Sicherheitsdatenblatt beschreibt Produkte im Hinblick auf Sicherheitserfordernisse. Die Angaben haben nicht die Bedeutung von Eigenschaftszusicherungen.