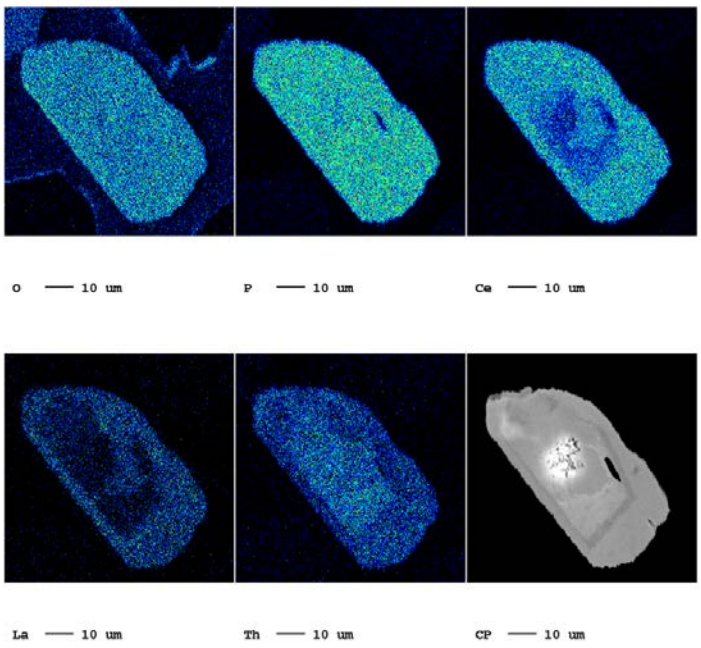
Geologische Bundesanstalt

Projekt Ü-LG-67_2015

Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe

Potenziale kritischer Rohstoffe III
(SEE-Potenziale ausgewählter Kaolin-, Ton-, Leukophyllit- und Grafitvorkommen in Niederösterreich und Oberösterreich

Jahresendbericht
Projekt Ü-LG-67_2015



von

A. SCHEDL, CH. BENOLD, H. NEINAVAIE,
P. LIPIARSKI & G. HOBIGER

82 Seiten, 40 Abb., 12 Tab., 1 Anh.

Wien, November 2016

Projektleiter

A. SCHEDL

Mitarbeiter

CH. BENOLD
G. HOBIGER
P. LIPIARSKI
H. NEINAVAIE
J. RABEDER

Allen Mitarbeitern und beratenden Kollegen der FA Rohstoffgeologie und FA Geochemie sei an dieser Stelle herzlichst gedankt! Ein besonderer Dank gilt der Aspanger Bergbau- und Mineralwerke GesmbH & Co KG, die dankenswerterweise Probenmaterial für diese Untersuchungen zur Verfügung gestellt hat.

Die Durchführung des Projektes erfolgte im Rahmen des Vollzuges des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft.

Inhalt

Zusammenfassung i

1. Einleitung und Zielsetzung 1
2. Seltene-Erden-Rohstoffe 3
   2.1 Aktualisiertes Rohstoffprofil 3
   2.2 Sekundäre Ionen-adsorptive SEE-Lagerstätten 6
   2.3 SEE-Rohstoffpotenzial in Österreich – generelle Übersicht 7
3. Durchgeführte Arbeit- und Untersuchungsschritte im Projektjahr 2015/2016 9
   3.1 Aktualisierung der bundesweiten Gesamtbibliographie zu den kritischen Rohstoffen 9
   3.2 Orientierende Probenahme bzw. Archivprobenauswahl für geochemische und mineralogisch-mikro-chemische Untersuchungen 9
   3.3 Geochemische Analytik 13
   3.4 Mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen 14
4. Ergänzende Untersuchung ausgewählter primärer und sekundärer Rohstoffressourcen (Ton, Kaolin, Leukophyllit, Grafit) in Niederösterreich/Oberösterreich im Hinblick auf SEE und andere kritische Rohstoffe 16
   4.1 Potenziale von SEE und anderer kritischer Rohstoffelemente im Bereich österreichischer Kaolin/ Ton-Rohstoffvorkommen 16
   4.2 Ergänzende Auswertung der bundesweiten Bachsedimentgeochemie in ausgewählten Neogen-/Quartärgebieten im Hinblick auf SEE und andere kritische Elemente 17
      4.2.1 Neogen/Quartärgebiete im Einzugsbereich der Böhmischen Masse 18
      4.2.2 Neogen/Quartärgebiete im Einzugsbereich des Steirischen Beckens 34
   4.3 Chemische Untersuchungen ausgewählter Kaolin-/Tonvorkommen im Umfeld der Böhmischen Masse (NÖ/OÖ) mit Schwerpunkt auf ihre SEE-Gehalte 40
      4.3.1 Bewertung der Potenziale 44
   4.4 Untersuchung von Sekundärrohstoffen aus der Leukophyllitaufbereitung in Aspang 47
      4.4.1 Bewertung des Potenzials 54
   4.5 Spurenelementchemismus ausgewählter Grafitproben aus dem Drosendorf-Deckensystem (Bunte Serie) 54
      4.5.1 Bewertung der Potenziale 56
5. Literatur 61
   5.1 Kritische Rohstoffe – Allgemein (Auswahlbibliographie) 61
   5.2 Seltene Erdelemente 68
   5.3 Grafit 74

Anhang

Ergebnisdokumentation mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen von Sekundärrohstoffen aus der Leukophyllitaufbereitung in Aspang

1. Einleitung und Zielsetzung

Mit der Diskussion von innovativen Technologien für Recycling und Ressourceneffizienz im Rahmen der Europäischen Rohstoffinitiative und der ersten Kommissionsstudie ‚Kritische Rohstoffe für die EU' hat der Themenbereich der Rohstoffsuche kritischer Mineralrohstoffe sowie Rohstoffgewinnung aus Sekundärrohstoffen wichtige Impulse erfahren, die auch in Österreich zu entsprechenden Umsetzungsstrategien und Forschungsprogrammen geführt haben. In der Mai 2014 veröffentlichten zweiten Kommissionsstudie ‚Report on Critical Raw Materials for the EU' wurden die ‚Kritischen Rohstoffe' neu evaluiert und definiert (20 Kritische Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen). Ein detaillierter Überblick über diese internationalen und nationalen Initativen findet sich in SCHEDL et al., 2015.

Bei der Suche nach einigen der kritischen Mineralrohstoffe gibt es trotz erster Übersichtsstudien auf nationaler Ebene (Primär- und Sekundärrohstoffpotenziale) und gezielten Förderprogrammen im Rahmen der Österreichischen Mineralrohstoffinitiative weiterhin noch erhebliche Informationsdefizite und damit einen erhöhten Forschungsbedarf, da viele dieser Rohstoffe bis dato noch nicht Ziel von Prospektionstätigkeiten waren. Forschungsansätzen bei der Gewinnung von Sekundärrohstoffen, insbesondere aus der Mineralrohstoffindustrie, fehlen in Österreich bis dato fast vollständig und waren auch der Ansatzpunkt für erste orientierende Untersuchungen im Rahmen der gegenständlichen VLG-Forschungsschiene (SCHEDL et al., 2013, 2014, 2015).

Die Forschung zur Wiedergewinnung von Sekundärrohstoffen ist in Österreich vor allem auf den industriellen und gewerblichen Bereich und das Altstoffrecycling von Spezialabfällen fokussiert. Für eine Reihe von kritischen Rohstoffen (z. B. Platingruppen-Metalle, SEE, Niob, Tantal) sind in Österreich aufgrund fehlender geologischer Rahmenbedingungen kaum wirtschaftlich interessante Primär-Ressourcen zu erwarten. Unabhängig davon besteht in Österreich für einige der genannten kritischen Rohstoffe noch immer ein großer Datenmangel, da diese Elemente/Elementgruppen nicht zu den routinemäßig untersuchten Parametern im Rahmen früherer geochemischer Untersuchungsprogramme zählten und die Stoffflüsse vieler dieser Rohstoffe in den Produktions- und Abfallkreisläufen vielfach nur geschätzt werden können. Vor allem der Bereich Aufbereitungstechnik und Abfallwirtschaft hat sich in den letzten fünf Jahren doch sehr intensiv mit der Rückgewinnung von kritischen Rohstoffen und der Quantifizierung kritischer Rohstoffe in ausgewählten Sekundärrohstoffströmen in Österreich beschäftigt, wobei der Bereich Sekundärrohstoffe aus der Mineralrohstoffindustrie in diesen konkreten Forschungsansätzen interessanterweise bisher ausgespart geblieben ist.

Das aus Mitteln des Vollzugs des Lagerstättengesetzes dotierte gegenständliche Projektvorhaben zur bundesweiten Erfassung der Rohstoffpotenziale kritischer Rohstoffe soll eine Abschätzung der zu erwartenden Potenziale in Primärlagerstätten und ausgewählten Sekundärlagerstätten ermöglichen und mithelfen, Prospektionsstrategien für künftige Hoffnungsgebiete zu entwickeln. Die Projektschiene verfolgt dabei folgende vorrangigen Projektziele:

- Schließung der Informationslücken über das Rohstoffpotenzial kritischer Mineralrohstoffe (Primär- und Sekundärrohstoffe) im gesamten Bundesgebiet
- Bewertung konkreter Potenziale für Rohstoffe der erweiterten EU-Liste "Kritische Rohstoffe" (2014) in Österreich auf Basis aller vorhandenen Daten bzw. neuer Untersuchungsergebnisse und aufbauend gezielte Planung der weiteren Arbeitsschritte
- Aufbereitung und Neubewertung bundesweit vorhandener Unterlagen früherer Rohstoffpotenzial-Einschätzungen
- Aufbereitung und Neu-Interpretation vorhandener geochemischer Datensätze mittels geostatistischer Auswerteverfahren
- Auswertung vorhandener geochemischer Datensätze hinsichtlich Such- und Prospektionsindikatoren auf die spezifischen Zielelemente/-mineralien kritischer Rohstoffe
- Ergänzende Zusammenstellung und Dokumentation der relevanten Literatur zum Vorkommen von kritischen Rohstoffmineralen (Seltenerden- und Spezialmetall-Minerale) in Österreich

Zusammenfassung

Die gegenständliche Projektphase zum Projekt ‚Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe (Potenziale kritischer Rohstoffe III, Proj. ÜLG-67)' ist eine inhaltliche Ergänzung der bisherigen Projektphasen (SCHEDL et al. 2013, 2014, 2015) und diente vorrangig geochemischen Untersuchungen von Tonen im Hinblick auf ihre Ionen-adsorptiven Eigenschaften, den Spurenelementgehalten von Grafiten und weiteren mineralogisch-mikrochemischen Untersuchungen von sekundären Rohstoffpotenzialen (Aufbereitungsabgängen). Die Arbeiten in dem gegenständlichen Projektjahr beschränken sich auf die Rohstoffe Tone/Kaolin, Grafit, Leukophyllit und damit möglicherweise assoziierten kritischen Rohstoffelementen. Die Projektarbeiten betreffend SEE-Rohstoffe im Sinne eines Ionen-adsorptiven Lagerstättentypus blieben regional auf das Gebiet der Böhmischen Masse und deren Vorland eingeengt mit regionalen Vergleichsdaten aus dem Bereich des Steirischen Beckens.

Auf Basis des bisherigen Kenntnisstandes, systematischer Informationsverknüpfung mit früheren Untersuchungsprogrammen, ergänzender Probenuntersuchungen von Ton-/Kaolinvorkommen und gezielter chemischer und mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen zusätzlich ausgewählter Sekundärrohstoffe (Aufbereitungsabgänge aus der Leukophyllitindustrie) soll damit die noch immer vorhandenen Informationslücken bei einigen der als kritisch eingestuften Rohstoffen (vor allem im Hinblick auf Ionen-adsorptive Bindung von SEE) überbrückt werden. Bei der Auswahl des Probenmaterials und der ergänzenden Probenahme konnte auf eine Reihe von Probenmaterialien (Kaolin, Ton, Grafit) in den Proben- und Lagerstättensammlungen der GBA zurückgegriffen werden. Die Aufbereitungsabgänge der Leukophyllitlagerstätte Aspang wurden vom Betreiber zur Verfügung gestellt.

In einem ersten Schritt zur Abschätzung weiterer möglicher SEE-Potenziale in Neogensedimenten wurden die Gesamtdatensätze der bundesweiten Bachsedimentgeochemie für die Neogen- und Quartärgebiete selektiert und speziell im Umfeld der Böhmischen Masse im Hinblick auf diese Fragestellung neu aufbereitet und uni- sowie multivariat ausgewertet.

Die im Bereich der Böhmischen Masse bei SEE+Y+Sc festgestellten Verteilungsmuster pausen sich randlich in die neogenen und quartären Ablagerungsbereiche fort. Dies wird vor allem im uni- und multivariat neuverrechneten, selektierten Datensatz ersichtlich, wobei die teilweise höheren SEE-Gehalte in der Fraktion <0,18 mm wesentlich deutlicher hervortreten als in der Feinfraktion <0,04 mm (Daten nur aus NÖ vorhanden). Diese Einflüsse der aktiven rezenten Sedimentfracht bleiben aber im Regelfall auf den unmittelbaren Nahbereich zur Böhmischen Masse beschränkt. Eine Differenzierung der Trägerphasen in Form von Schwermineralen oder adsorptiver Bindung an Tonminerale ist anhand der Bachsediment-Analysendaten der Kornfraktion < 0,18 und <0,04 mm allein nicht möglich. Dazu fehlen Analysenergebnisse der schweren SEE sowie auch ergänzende Angaben über die Schwermineralführung in den Feinsedimenten. Die Multivariatdaten aus dem Randbereich zum Kristallin lassen aber vermuten, dass in diesem Bereich die SEE-Bindung an Schwermineral-Trägerphasen gegenüber der adsorptiven Bindung an Tonminerale deutlich überwiegt.

Indikationen für wirtschaftlich interessante Anreicherungen von SEE in den Neogengebieten im Umfeld der Böhmischen Masse sind aus der Primärauswertung der selektierten Bachsedimentgeochemie-Datensätze nicht erkennbar. Aus den rezenten Beobachtungen lässt sich vermuten, dass lediglich die kristallinnahen Randbereiche von Anreicherungsprozessen hinsichtlich SEE-Trägermineralen betroffen waren. Im Hinblick auf die Möglichkeit der Ionen-adsorptiven Bindung von SEE an Tonminerale dürften im Wesentlichen nur diese kleinen neogenen Randbeckenlagen bzw. neogene Kleinbecken innerhalb des Kristallins eine theoretische Relevanz haben.

Der Bereich des Steirischen Beckens wurde in der grundsätzlichen Betrachtung der geochemischen Rahmenbedingungen für adsorptive Bindung von kritischen Rohstoffelementen an Tonen mitberücksichtigt, obwohl hier ein erwartbares SEE-Potenzial aufgrund der fehlenden geologischen und mineralogischen Voraussetzungen von vornherein auszuschließen war. Am Beispiel der Elemente Vanadium und Lithium wird für diesen Bereich ansatzweise Indikatoren für eine Ionen-adsorptive Bindung dieser Elemente an Tonminerale diskutiert, die hier aus der Bach- und Flusssedimentgeochemie in der Feinfraktion < 0,04 mm sehr gut ableitbar sind.

Zur Untersuchung des Potenzials von Ionen-adsorptiver SEE-Bindung an Tonminerale wurden drei Untersuchungsgebiete (Karlstetten, Mörtersdorf, Kriechbaum) ausgewählt, die aufgrund geologischer, mineralogischer und geochemischer Überlegungen für solche spezifischen Bindungsformen noch am ehesten geeignet erschienen.

Die Probe aus der Bohrung KA-3/83 bei Karlstetten zeigt dabei den höchsten SEE-Gesamtgehalt (858 ppm) aller untersuchten Ton-/Kaolin-Proben mit bemerkenswerten Anreicherungen an schweren SEE, insbesondere von Y, Gd, Dy, Er und Yb. In der Typologie der Anreicherung der schweren SEE, der Abreicherung der leichten SEE und auch im Vergleich mit SEE-Verteilungsmustern aus chinesischen Kaolin-Lagerstätten entspricht diese Probe sehr gut einem Ionen-adsorptiven-SEE-Lagerstättentypus. Zur endgültigen Abklärung des tatsächlichen Anteils einer adsorptiven Bindung an die Tonminerale sind dazu noch ergänzenden Untersuchungen des Schwermineralspektrums und mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen der Kaolin-Mineralphasen erforderlich. Es wäre auf jeden Fall der erste Nachweis eines solchen sekundären SEE-Lagerstättentypus in Österreich. Genaue Angaben über das Kaolin-Potenzial dieser Lagerstätte stehen leider nicht zur Verfügung. Aus Archivunterlagen der AUSTROMINERAL geht hervor, dass hier eine Kaolinlagerstätte in der Größenordnung bis 2,6 Mio t Kaolin vorliegt. Bezogen auf diese grob angeschätzte Kennzahl und der orientierenden Spurenelementanalytik wäre dies ein SEE-Gesamtpotenzial von rund 2.200 t.

Die durch eine Kernbohrung (MR-1/83 - Mörtersdorf) erfassten Tone der Pielach-Formation aus dem Bereich des Horner Beckens besitzen -direkt an das Kristallin der Böhmischen Masse angrenzend- durchaus interessante Mächtigkeiten von teilweise über 20 Meter. Hinsichtlich SEE-Gesamtgehalte (348 ppm) sind sie aber -vergleichbar mit den Kaolintonen von Karlstetten- als relativ niedrig einzustufen. Die SEE-Gehalte sind auch hier vor allem durch die Schwermineralführung bedingt.

Die Kaolinlagerstätte Kriechbaum entspricht nach den bisher festgestellten SEE-Verteilungen keinem Ionen-adsorptiven Lagerstättentypus (HÖHN et al. 2014). Die SEE-Gehalte sind hier vorwiegend durch die spezifische Schwermineralführung bedingt. Die wirtschaftlich interessanten schweren SEE zeigen dabei überhaupt keine Anreicherungen. Aufgrund der relativ niedrigen SEE-Gehalte im Rohkaolin ist im Bereich der Kaolinlagerstätte Kriechbaum mit keinem wirtschaftlichen SEE-Potenzial im Kaolinrohstoff zu rechnen. Von den Gehalten an SEE und Nb durchaus interessant sind hingegen die Aufbereitungsrückstände aus der Kaolinaufbereitung (Magnetscheider, Hydrozyklone). Die SEE-Gesamtgehalte von 0,26-0,77 % sind zwar bemerkenswert hoch, die jährlich anfallenden Mengen an Aufbereitungsabgänge sind für eine wirtschaftliche Nutzung aber viel zu gering (SCHEDL et al. 2014; HÖHN et al. 2014).

In Ergänzung zu der bisherigen Untersuchungen von Aufbereitungsabgängen der Mineralrohstoffindustrie konnten auch zwei Proben (Schlicker, Feinsand) aus der Leukophyllitaufbereitung in Aspang chemisch und mineralogisch-mikrochemisch untersucht werden. Die chemische Analyse der beiden Gesamtproben zeigt relativ geringe Gehalte an SEE und anderen kritischen Rohstoffelementen. Das Schwermineralkonzentrat aus dem Schlickermaterial weist mit SEE-Gesamtgehalten von 1063 ppm zwar deutlich höhere SEE-Gehalte als das Ausgangsprobenmaterial auf, aber doch deutlich geringere Konzentrationen als beispielsweise die in den Vorprojekten untersuchten Flotationsabgängen der Quarzsandindustrie in Niederösterreich bzw. Oberösterreich. Die leichten SEE (La, Ce, Nd) sind in der untersuchten Schwermineralprobe deutlich angereichert, was relativ gut mit den vorherrschenden Trägerphasen Apatit und Monazit korrelierbar ist. Die erhöhten Gehalte an bestimmten SEE (Y, Sm) korrespondieren ebenfalls sehr gut mit dem Anteil der wichtigsten Schwerminerale Apatit, Zirkon und Monazit und deren Spurenelementgehalten.

Im Schwermineralspektrum der Gesamtsiebfraktion (<0,7 mm) dominieren bei den SEE-Trägerphasen Rutil, Apatit, Zirkon, Monazit und geringfügig Xenotim. Zirkon und Monazit sind in der Feinfraktion < 0,063 mm deutlich angereichert. Vorrangiges SEE-Trägermineral ist Monazit (Ce_2O_3 bis 35,1 %, La_2O_3 bis 22,9 %, Nd_2O_3 bis 22,4 %, Pr_2O_3 bis 3,1 %). ThO_2-Gehalte im Monazit schwanken zwischen 1,2 % und 10,3 %. Der Anteil von Xenotim als weiteres wichtiges SEE-Trägermineral liegt hingegen bei 1,2 %. Apatit mit rund 7,5 % Anteil an der Fraktion <0,7 mm hat ebenfalls in Spuren SEE im Gitter eingebaut. Zirkon als Hauptträgermineral für Hafnium enthält in geringeren Mengen auch SEE.

Rutil figuriert vor allem als wichtigste Trägerphase für Nb und Ta. Die maximalen Nb-Gehalte der Rutile im Schlickermaterial liegen bei 0,4 % Nb_2O_3. Die Ta_2O_5-Gehalte erreichen hingegen maximal 0,05 %. Bemerkenswert hoch ist WO_3-Gehalt mit bis zu 0,68 %. Die am häufigsten auftretenden Schwermineralphasen <0,063 mm (56 %) sind jedoch Sulfide (Pyrit, Chalcopyrit, Tennantit), die aber mikrochemisch nicht weiter untersucht wurden.

Angesichts der geringen Schwermineralführung im Schlickermaterial und den darin enthaltenen geringen SEE-Gehalten muss von einem eher geringen SEE-Rohstoffpotenzial ausgegangen werden. Bei derzeit rund 3,5 Mio. t

Schlicker in den Schlickerteichen sind das bei dem festgestellten durchschnittlichen Schwermineralanteil von 0,17 % rund 6.000 t Schwerminerale im Deponiebereich der Teiche. Bei 1063 ppm SEE-Gesamtgehalten ergibt dies ein grob angeschätztes Gesamtpotenzial von lediglich 6,4 t SEE. Eine wirtschaftliche Nutzung dieses deponierten und aktuell anfallenden SEE-Potenzials erscheint daher nicht realistisch, wenn überhaupt nur unter Berücksichtigung anderer Wertstoffkomponenten/Schwermineralphasen im Schlickermaterial. Mengenmäßig dürften die Sulfide den Schwermineralanteil im Schlicker dominieren. Eine vertiefende Spurenelementanalytik dieser Phasen wäre für weitere Nutzungsoptionen erforderlich.

Im Rahmen ergänzender Geländebefahrungen wurden im Bereich der Grafitlagerstätte Weinberg (Lager I) zusätzlich sulfidreiche Partien der Grafitmineralisation für chemische Analysen beprobt, die ebenso wie 10 Grafitproben aus der Lagerstättensammlung der Geologischen Bundesanstalt im Hinblick auf Spurenelementchemismus untersucht wurden. Weitere geochemische Vergleichsdaten standen aus aktuellen Universitätsarbeiten zur Verfügung (WAGNER, 2009; MÜLLER, 2016).

Die SEE-Gehalte in den untersuchten Grafiten weisen teilweise sehr große Unterschiede auf, die Gesamtgehalte variieren dabei zwischen 110 und 393 ppm, wobei die leichten SEE Ce und La deutlich angereichert, die schweren SEE aber durchwegs abgereichert sind. Trägerminerale sind insbesondere Apatit, Monazit, Rutil, Xenotim und Zirkon. In den aktuell untersuchten Grafiten gibt es keine Indikationen für eine signifikante Erhöhung anderer kritischer Rohstoffelemente. Das betrifft auch die sulfidreicheren Varietäten, bei denen lediglich Co, Ni, As und Cr leicht erhöht sind.

Aus den bisher bekannten Untersuchungsergebnissen an Grafiten der Bunten Serie lassen sich außer dem kritischen Rohstoff Grafit selbst keine wirtschaftlich interessanten Anreicherungen von anderen kritischen Rohstoffelementen erkennen. Diese liegen durchwegs mit sehr geringen Gesamtgehalten in den Grafiten vor. SEE-Trägerminerale könnten aber - ebenso wie bei der Aufbereitung der Quarzsande - in den Flotationsabgängen bei der Grafitaufbereitung in konzentrierter Form anfallen und wären hier ein in geringen Mengen auftretendes Beiprodukt der Grafitgewinnung mit begrenzten Verwertungsmöglichkeiten.

Zusammenfassung

Mit der Diskussion von innovativen Technologien für Recycling und Ressourceneffizienz im Rahmen der Europäischen Rohstoffinitiative und der ersten Kommissionsstudie ‚Kritische Rohstoffe für die EU' hat der Themenbereich der Rohstoffsuche kritischer Mineralrohstoffe sowie Rohstoffgewinnung aus Sekundärrohstoffen wichtige Impulse erfahren, die in den letzten Jahren auch in Österreich zu entsprechenden Umsetzungsstrategien und breit gefächerten Forschungsprogrammen geführt haben. Mittlerweile gibt es bereits eine zweite, neu evaluierte Kommissionsstudie ‚Report on Critical Raw Materials for the EU (2014)' mit einer erweiterten Liste (20 Kritische Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen).

Seit dem vorjährigen Projektendbericht sind aus österreichischer Sicht zwei wichtige neue Forschungsprogramme/-initiativen hervorzuheben. Mit dem Ende 2014 erfolgten Zuschlag an das europäische Konsortium "KIC Raw MatTERS" hat das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) Österreich erstmals in eine schlagkräftige Wissens- und Innovationsgemeinschaft (Knowledge and Innovation Community – KIC) aufgenommen. Die Aktivitäten des neu beauftragten KIC „EIT RawMaterials" umfassen die nachhaltige Erkundung, die Gewinnung, das Recycling und die Substitution von Rohstoffen und integrieren damit Aktivitäten entlang der gesamten Wertschöpfungskette, wobei ein Fokus auch bei kritischen Rohstoffen liegt.

Auf Initiative des Fachausschusses für Lagerstättenforschung (Bergmännischen Verband Österreich) wurde 2014 ein Strategiepapier unter dem Titel „GBA-Forschungspartnerschaften - Grundlagenorientierte Mineralrohstoffforschung, eine Initiative zur Entwicklung des österreichischen Forschungsraumes" vorgelegt. Die Umsetzung dieses Forschungskonzepts erfolgt im Rahmen eines kooperationsfördernden GBA-Schwerpunktes, der in enger Zusammenarbeit mit Universitäten, Fachhochschulen und weiteren außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt werden soll. Der Start des vorläufig bis 2018 vorgesehenen Forschungsprogrammes erfolgte in der 2. Jahreshälfte 2015 mit der Beauftragung von 4 Rohstoffforschungsprojekten. Unter den sehr breit gefächerten Forschungszielsetzungen zählen auch die ‚Kritischen Rohstoffe' zu den vorgeschlagenen Themenschwerpunkten.

Das aus Mitteln des Vollzugs des Lagerstättengesetzes dotierte gegenständliche Projektvorhaben zu bundesweiten Erfassung der Rohstoffpotenziale kritischer Rohstoffe ist eine inhaltliche Fortsetzung des vorjährigen Projektes (SCHEDL et al. 2014), wobei diesmal die beiden kritischen Rohstoffelemente Antimon und Wolfram bzw. damit assoziierte andere kritische Rohstoffe Zielobjekte der Untersuchungen waren. Die Rohstoffinformationssysteme Bergbau-/Haldenkataster, IRIS bzw. die Fachdatenbank zum Haldenscreening sowie die gezielte Auswertung der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie liefern bereits einen sehr umfassenden Überblick über die Verbreitung von Antimon- und Wolfram-Lagerstätten/Vorkommen/Mineralisationen im Bundesgebiet. Prospektions- und Explorationsarbeiten in den letzten 40 Jahren haben die Informationslage über die beiden kritischen Rohstoffe zudem erheblich erweitert. Beim derzeitigen Wissensstand ist aber in Österreich sowohl in der bereits ausgeerzten Antimonlagerstätte Schlaining, der zeitweise größten europäischen Antimonlagerstätte, als auch bei den vielen kleinen Stibnit-Lagerstätten/Vorkommen bzw. Antimon-führenden polymetallischen Sulfidlagerstätten mit keinerlei wirtschaftlich nutzbaren Rohstoffvorkommen zu rechnen. Eine ähnliche Situation trifft auch auf die Primärrohstoffpotenziale bei Wolfram zu. Die Scheelitlagerstätte Mittersill, die zu den weltgrößten Lagerstätten zählt, besitzt noch Reservereichweiten von über 10 Jahren. Die zu erwartenden Potenziale bei den über 150 anderen in Österreich bekannten Scheelitmineralisationen sind hingegen als gering einzustufen.

Während die Potenziale bei den Primärrohstoffen aufgrund der Datenlage sehr gut abschätzbar sind, bestehen noch erhebliche Informationslücken bei Sekundärrohstoffen in der Antimon- bzw. Wolfram-Mineralrohstoff-industrie. Grundsätzlich sind potenzielle Rohstoffhoffnungsgebiete für Sekundärrohstoffe vor allem im Bereich von Bergbauhalden, Aufbereitungsabgängen und im Fall Antimon auch bei Stollen-/Haldenwässern zu erwarten. Ein diesbezüglicher Überblick wird anhand vorhandener und aktueller Untersuchungsergebnisse gegeben. In realistischer Einschätzung dieser Potenziale wurden im vergangenen Projektjahr ausschließlich Sekundärrohstoffe aus der Rohstoffaufbereitung (Antimon: Flotationsabgänge Schlaining; Wolfram: Flotationsabgänge Mittersill und Tux-Lanersbach) sowie aus der weiteren Scheelitverarbeitung (Filterrückstände Wolframhütte Bergla) näher untersucht.

Die aktuellen Untersuchungen umfassen neben geochemischen (43 Spurenelementparameter) auch mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen mittels EMS/EDX bzw. teilweise auch mittels REM/EDAX. Zur besseren Charakterisierung der potenziellen Trägerphasen für kritische Rohstoffe wurden diese Untersuchungen soweit wie möglich sowohl an der Gesamtprobe als auch an separierten Schwermineralfraktionen durchgeführt.

Sekundärrohstoffpotenzial Antimon

Flotationsabgängen - Antimonbergbau Schlaining
Bei der Untersuchung der Klärschlammsedimente aus der Aufbereitung im Antimonbergbau Schlaining konnte zusätzlich zu den bisherigen und aktuellen Untersuchungsergebnissen der GBA erstmals auch bis dato unveröffentlichte Daten einer geotechnischen Standortuntersuchung mittels Rammkernsondierungen und repräsentativen Großprobenuntersuchungen (INTERGEO, 2000) mit ausgewertet werden.
Dominante Erzphasen in der untersuchten Schwermineralfraktion < 0,4 mm der Klärschlammsedimente sind Stibnit, Pyrit (+ Melnikovit-Pyrit), Arsenopyrit und Markasit. Als Antimon-Trägerminerale figuriert neben Stibnit und dessen Oxidationsprodukt Kermesit vor allem (As, Sb, Fe)-Hydroxide (bis 13,4 % Sb). Im Gitter von Arsenopyrit ist zudem bis zu 1,3 % Sb eingebaut. Sonstige kritische Rohstoffelemente konnten in den untersuchten Mineralphasen nicht festgestellt werden. Aus früheren Untersuchungen von Klärschlammsedimenten in Schlaining sind teilweise sehr hohe Wismut-Gehalte (bis 425 ppm) festgestellt worden. Erstmals konnte nun im Rahmen der aktuellen Untersuchungen auch Galenobismutit als Trägermineral für Wismut bestimmt werden. In den chemischen Analysen der untersuchten Klärschlammsedimente variieren die Sb-Gehalte zwischen 1.887 und 3.919 ppm. Die Arsengehalte liegen -konform dem mineralogischen Befund- ebenfalls sehr hoch, in den beiden Großproben der INTERGEO-Studie immerhin bei 2.340 bzw. 4.720 ppm (in den GBA-Proben zwischen 928 und 3.785 ppm).

Auf Basis von Bohrungen, Profilen und aktuellen Oberflächenbefunden wurde auch versucht, das Sekundärrohstoffpotenzial für die Klärschlammsedimente im Klärteich III abzuschätzen. Bei einem konservativ errechneten Gesamtvolumen von rund 860.000 t und einem niedrig angesetzten durchschnittlichen Antimon-Gehalt von 2.000 ppm in den Flotationsabgängen wäre das ein Gesamtpotential von 1.720 t Antimon. Bei den errechneten Durchschnitten von 2.800 ppm Sb erhöht sich dieses Potenzial auf rund 2.400 t Sb. Demgegenüber steht vergleichsweise ein jährlicher Gesamtimport (2010) von Antimon (Rohform-Pulver, Abfälle-Schrott) in Österreich von rund 37 t. Trotz der noch unklaren Bewertung der technischen Gewinnbarkeit dieser Antimon-Sekundärressource ist eine Ausweisung dieses Potenzials in einem bundesweiten Rohstoffinventar für kritische Rohstoffe durchaus gerechtfertigt.

Bergbauhalden
Das Sekundärrohstoffpotenzial für Antimon in Bergbauhalden ist wegen der kleinstrukturierten Abbaubetriebe in den Ostalpen von vornherein bereits sehr limitiert. Die Vinzenz-Stollenhalde im Bergbau Schlaining ist die bundesweit größte Antimon-Bergbauhalden und besitzt eine Gesamtkubatur von über 300.000 t. Restpotenziale an Antimon sind beim aktuellen Informationsstand schwer abzuschätzen, da repräsentative Haldenuntersuchungen fehlen. Das Sb-Gesamtpotenzial dürfte aber unter 200 t liegen

Die im Zuge des Projektes ‚Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich' (SCHEDL et al., 2012) untersuchte Sandpocherhalde in Schwaz zeigt beispielsweise sehr konstante Sb-Gehalte von 400-500 ppm, bei durchschnittlich 3.000 ppm Cu. Bei einer Kubatur von rund 20.000 t wäre das ein Sb-Potenzial von 8-10 t bzw. ein Cu-Potenzial von 60 t. In der mittlerweile weitgehend verbauten Alten Pocher-Halde in Schwaz befinden sich rund 40.000 t feinkörnige Aufbereitungsabgänge mit einem etwas höheren Sb-Gehalt von 800 ppm. Diese aktuell nicht mehr zugängliche Aufbereitungshalde enthält ein Sb-Potenzial von rund 32 t sowie rund 100 t Cu.

Bergwässer
Am Beispiel der Fahlerzlagerstätten in Schwaz mit relativ hohen Sb-Gehalten in Halden-/Bergwässern wurde auch dieses spezifische Sb-Sekundärrohstoffpotenzial im Abflussbereich des Wilhelm-Erbstollens abgeschätzt. Unter Berücksichtigung einer aus den letzten Jahren ermittelten durchschnittlichen Schüttung des Wilhelm Erbstollens von 2.650 l/min und unter Zugrundelegung einer Sb-Konzentration von 0,8 mg/l aus einer aktuellen Messung entspricht das einer täglichen Sb-Fracht von rund 3,1 kg bzw. einer jährlichen Fracht von 1,13 t.

Sekundärrohstoffpotenzial Wolfram

Flotationsabgängen - Scheelitbergbau Mittersill

Für die Untersuchung und Bewertung des Sekundärrohstoffpotenzials betreffend Wolfram wurde seitens der Wolfram Bergbau- und Hütten AG aktuelles Probenmaterial aus der Scheelit-Aufbereitung in Mittersill zur Verfügung gestellt. In der Aufbereitung des Scheelitbergbaus in Mittersill fallen jährlich rund 400.000 t Flotationsabgänge an, wobei 250.000 t in den Klärteichanlagen in Stuhlfelden deponiert und 150.000 t als Versatzmaterial (Spülversatz, bindemittelhältiger Pumpversatz) im Bergbau verwendet werden.

Die untersuchten Aufbereitungsproben weisen mit 6,5 bzw. 11,5 % Schwermineralen relativ hohe Schwermineralgehalte auf. Bei den Erzphasen ist das häufige Auftreten von Phyrrhotin auffallend, teilweise in Paragenese mit Molybdänit, Wismutglanz, ged. Wismut, Chalkopyrit, Markasit, Pentlandit und Pyrit. Die höheren Molybdän- und Wismut-Gehalte in den Aufbereitungsabgängen gehen vor allem auf diese Mo- und Bi-Mineralphasen zurück. Scheelitphasen sind hingegen in den Flotationsbergen aufgrund des hohen Ausbringungsgrades der Aufbereitung nur sporadisch zu beobachten. Die analysierten Scheelite haben WO_3-Gehalte zwischen 79,2 und 81 %. MoO_3 erreicht relativ hohe Maximalgehalte von 0,9 %. Ce_2O_3 liegt in den Scheeliten zwischen 0,21 und 0,61 %, während Nb_2O_3 maximale Gehalte von 700 ppm erreicht.

Der WO_3-Gehalt der Flotationsberge hat in den letzten Jahrzehnten deutlich abgenommen und liegt zuletzt im Durchschnitt bei rund 0,04 %, in der aktuell untersuchten Probe bei 0,03 %. Die Wolframgehalte sind in beiden separierten Schwermineralproben mit 816 ppm WO_3 bzw. 1.757 ppm WO_3 entsprechend höher. Erhöhte Elementgehalte konnten neben Wolfram lediglich bei den Elementen V, Cr, Mo und Bi beobachtet werden. SEE zeigen in den Gesamtproben durchwegs durchschnittliche Verteilung und nicht die erwartete Anreicherung aufgrund der SEE-Trägerphasen Apatit oder Scheelit.

Bei den derzeit anfallenden jährlichen Flotationsabgängen von rund 400.000 t entspricht das einer jährlichen WO_3-Restmenge von 160 t, die zu zwei Drittel in die Klärteichanlagen nach Stuhlfelden und zu einem Drittel als Versatzmaterial in den Untertagebergbau gehen. Unter Berücksichtigung der Verfüllkubatur für die bestehenden bzw. genehmigten Klärteichanlagen in Stuhlfelden wäre das ein grob geschätztes theoretisches WO_3-Gesamt-restwertstoffpotenzial von über 5.500 t, aber auch von jeweils 1.000 t Mo und Bi, die in den Klärteichanlagen deponiert wurden. Aussagen über eine tatsächliche Gewinnbarkeit/Aufbereitbarkeit dieser Restwertstoffpotenziale lassen sich beim derzeitigem Kenntnisstand aber nicht machen.

Flotationsabgängen-Scheelitbergbau Tux-Lanersbach
Neben Aufbereitungsabgängen aus der aktuellen Scheelit-Aufbereitung in Mittersill konnten im gegenständlichen Projekt auch Flotationsabgänge aus der historischen Scheelitaufbereitung des ehemaligen Scheelit-Magnesit-Bergbaus Tux-Lanersbach neu untersucht werden. Beim Probenmaterial handelt es sich um Rückstellproben aus dem Untersuchungsprogramm der VOEST ALPINE (1984), die sich im Lagerstätten-Probenarchiv der GBA befinden.

Die drei untersuchten Klärschlamm-Mischproben widerspiegeln den teilweise sehr heterogenen Aufbau der Klärschlammsedimente. Der Anteil der Schwermineralfraktion < 0,7 mm beträgt zwischen 0,65 und 8,82 %, wobei letzter Wert auf einen Anreicherungseffekt von sulfidischen Schwermineralen in der Nähe der Einspülstelle zurückzuführen ist. Dominante Mineralphase in der Schwermineralfraktion der Klärschlammsedimente ist meist Magnesit. Der Scheelit-Anteil variiert zwischen 5,4 und 18,5 %. Interessant sind die hohen SEE-Gehalte in den untersuchten Scheeliten (Ce_2O_3 bis 1,1 %, La_2O_3 bis 3100 ppm, Nb_2O_3 bis 1800 ppm, Y_2O_3 bis 1000 ppm). Der Molybdängehalt der Scheelite erreicht maximal 700 ppm. Der Sulfid-Anteil ist zum Teil extrem hoch (bis 44 %). Vorherrschende Sulfidkomponenten sind Pyrit und Arsenopyrit, teilweise mit erheblicher Goldführung. Apatit ist mit bis zu 7,3 % an der Schwermineralzusammensetzung beteiligt und wurde auch im Hinblick auf mögliche SEE-Gehalte überprüft (Ce_2O_3 bis 500 ppm, La_2O_3 bis 2400 ppm, Y_2O_3 bis 1000 ppm, Nd_2O_3 bis 500 ppm).

Chemische Analysen (39 Proben) im seinerzeitigen Untersuchungsprogramm der VOEST-ALPINE 1984 ergaben bis zu einer Untersuchungsteufe von 1,9 m WO_3 -Durchschnittsgehalte der Klärschlammsedimente von 0,5 %. Insgesamt liegen die aktuellen Analyseergebnisse der untersuchten Mischproben durchaus im Range-Bereich der seinerzeitigen VOEST-ALPINE-Untersuchungen. Durchschnittliche WO_3-Gehalte aus den aktuell untersuchten, sehr heterogenen Mischproben lassen sich aber nicht ableiten. Mit Durchschnittsgehalten über 0,36 % WO_3 kann aber gerechnet werden. Sieht man von Wolfram ab, weisen die Spurenelementgehalte in den untersuchten Gesamtproben keine signifikanten Hochwerte auf. Lediglich die Lithium-Gehalte sind fast durchwegs etwas erhöht (63 -131 ppm). Der erhöhte Gehalt an Sulfiden in der Schwermineralfraktion fällt im Spurenelementchemismus der Gesamtproben kaum ins Gewicht.

iii

Laut Produktionsstatistiken in den ÖAMAG-Jahresberichten des Scheelit-Magnesit-Bergbaus Tux-Lanersbach wurden im Betriebszeitraum 1957-1971 insgesamt rund 124.000 t Feinabgänge aus der Aufbereitung in den Klärteich eingebracht (entspricht einem WO_3-Gesampotenzial von 620 t bei Ø 0,5 % WO_3). WENGER (1982) und BAUER (1983) gehen in ihren Überlegungen von einem Gesamtpotenzial an Aufbereitungsabgängen im Klärteich von 93.316 t aus. Wegen Nichtgewinnbarkeit des Gesamtpotenzials durch teilweises Zuschütten des Klärteichs mit Abraummaterial rechnen beide mit einer gewinnbaren Menge an Abraumbergen von 45.000 t mit einem durchschnittlichen WO_3-Gehalt von 0,5 %. Daraus ergibt sich ein Gesamtpotenzial an Kategorie A-Vorräten von 225 t (WENGER, 1982), wobei sich die Gewinnbarkeit dieses Potenzials bei einem Ausbringungsgrad von 70 % WO_3 auf 158 t reduziert.

Filterrückstände Wolfram-Hütte Bergla
Als spezifische Sekundärrohsstoffe der betriebseigenen Wolfram-Hütte in Bergla konnten auch Filterrückständen aus der Fällungsreinigung der Na_2WO_4-Rohlösung untersucht werden. Diese sekundären Restwertstoffe des hydrometallurgischen Prozesses sind für die gegenständliche Fragestellung deshalb von Interesse, da diese in einem engen Zusammenhang mit den Spurenelementgehalten der Scheelite aus dem Bergbau Mittersill stehen und damit Teil dieses Rohstoffpotenzials sind.

Das Filterrückstandsmaterial konnte wegen der Feinkörnigkeit, Zusammensetzung und dem damit verbundenen enormen zeitlichen Messaufwand nicht mit den üblichen Standard-Untersuchungsroutinen detailliert untersucht werden. Durch mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen wurden als dominante Phasen und Mischverbindungen Wolfram- und Molybdänverbindungen wie z.B. Wolfram-Blauoxid (WO_{3-x}), Ammoniumparawolframat (APW) und untergeordnet auch Natriumwolframat, elementarer Schwefel, sowie Antimonit festgestellt.
Parallel zu den EMS/EDAX-Untersuchungen wurden an der GBA auch REM/EDX-Messungen an dem feinkörnigen Filtermaterial durchgeführt. Die Messwerte repräsentieren aufgrund der extremen Feinkörnigkeit des Materials keine Monomineralphasen sondern meist Mischwerte aus unmittelbar benachbarten Mineralphasen. Mittels REM/EDX identifizierte Mineralphasen sind W-Oxid, Mo-Oxid und reichlich Natriumsulfat als Ausblühungen auf der getrockneten Oberfläche der Filterrückstände.

Die dominanten Spurenelemente in den untersuchten Filterrückständen sind eindeutig Mo mit 4,5 und 6,7 % sowie W mit 2,9 und 3,0%. Bemerkenswert hoch sind aber auch die Gehalte an Wismut (813 und 1.165 ppm) sowie von Co (528 und 1.128 ppm). Weiter sind noch erhöhte Gehalte an Cu (1.106 und 1.146 ppm) sowie von Zn (2511 ppm) und As (140 und 371 ppm) feststellbar. Zur Kontrolle wurde wegen der hohen S-Gehalte in den Filterrückständen auch SO_3 mitbestimmt (42,8 bzw. 35,1 %). Vergleicht man die Spuren aus den Filterrückständen mit Flotationsabgängen aus Mittersill, so korrespondieren die erhöhten Werte von Mo, Zn, Bi, As, Co und Cu durchaus mit den Anreicherungen in den Filterrückständen. V und Ni sind hingegen in den Flotationsbergen deutlich höher als in den Filterrückständen.

Filterrückstände aus den verschiedenen Reinigungsprozessen werden in der Hütte Bergla nur zum Teil genutzt. Die untersuchten Filterrückstände aus der Molybdänfällung werden in Frankreich weiterverarbeitet bzw- entsorgt. Aus rohstoffwirtschaftlicher Sicht ist vor allem die hohe Molybdän-Komponente in den Filterrückständen von besonderem Interesse. Bei einer geschätzten Trockenmasse von rund 175 t Filterrückstände (auf Basis 2014) und einem Mo-Gehalt von 5 % wäre das immerhin ein Mo-Gesamtpotenzial von 8,75 t pro Jahr. Laut Importstatistik (STATISTIK AUSTRIA) betrug der Molybdän-Metallimport Österreichs im Jahr 2010 insgesamt 414 t. Molybdän in den Filterrückständen der Hütte Bergla macht damit größenordnungsmäßig rund 2 % des jährlichen Mo-Bedarfs in Österreich aus.

- Auswahl vorhandenen Probenmaterials aus dem Probenarchiv der GBA für gezielte Zusatz-/Neuananalytik (Geochemie, Mineralogie)
- Recyclingpotenzialbewertung von Sekundärrohstoffen in Altbergbau-/Aufbereitungshalden

Die gegenständliche Projektphase zum Projekt ‚Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe (Potenziale kritischer Rohstoffe III, Proj. ÜLG-67)' ist eine inhaltliche Ergänzung der bisherigen Projektphasen (SCHEDL et al., 2013, 2014, 2015) und diente vorrangig geochemischen Untersuchungen von Tonen im Hinblick auf ihre Ionen-adsorptiven Eigenschaften, den Spurenelementgehalten von Grafiten und weiteren mineralogisch-mikrochemischen Untersuchungen von sekundären Rohstoffpotenzialen (Aufbereitungsabgängen). Die Arbeiten in dem gegenständlichen Projektjahr beschränken sich auf die Rohstoffe Tone/Kaolin, Grafit, Leukophyllit und damit möglicherweise assoziierten kritischen Rohstoffelementen. Die Projektarbeiten betreffend SEE-Rohstoffe im Sinne eines Ionen-adsorptiven Lagerstättentypus bleiben regional auf das Gebiet der Böhmischen Masse und deren Vorland eingeengt mit regionalen Vergleichsdaten aus dem Bereich des Steirischen Beckens.

Auf Basis des bisherigen Kenntnisstandes, systematischer Informationsverknüpfung mit früheren Untersuchungsprogrammen, ergänzender Probenuntersuchungen von Ton-/Kaolinvorkommen und gezielter chemischer und mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen zusätzlich ausgewählter Sekundärrohstoffe (Aufbereitungsabgänge aus der Leukophyllitindustrie) sollen damit die noch immer vorhandenen Informationslücken bei einigen der als kritisch eingestuften Rohstoffen (vor allem bei SEE) überbrückt werden.

Bei der Auswahl des Probenmaterials und der ergänzenden Probenahme konnte auf eine Reihe von Probenmaterialien in der Proben- und Lagerstättensammlung der GBA zurückgegriffen werden. Die Aufbereitungsabgänge der Leukophyllitlagerstätte Aspang wurden im Zuge einer Betriebsbesichtigung vom Betreiber zur Verfügung gestellt.

Da über den Spurenelementchemismus von Grafiten im Bereich der Böhmischen Masse ebenfalls nur wenige neuere Daten vorliegen, wurden ein aktuell beprobtes Vorkommen (Weinberg-Lager I) und weitere 9 Grafitvorkommen auf Basis von Archivproben aus der Lagerstättensammlung der Geologischen Bundesanstalt neu im Hinblick auf Spurenelementgehalte analysiert. Diese Untersuchungen galten nicht dem Grafit-Potenzial an sich, sondern den weiteren Potenzialen an kritischen Rohstoffen.

Die in der Projektphase III durchgeführten Arbeiten umfassten im Wesentlichen folgende Teilarbeitsschritte:

- Gezielte geostatistische Auswertung der im sedimentären Umfeld der Böhmischen Masse vorliegenden geochemischen Daten (Geochemischer Atlas) im Hinblick auf das Potenzial einer Ionen-adsorptiven Bindung kritischer Elemente an Tonen bzw. Kaolintonen
- Vergleichende Auswertung geochemischer Basisdaten im Bereich des Steirischen Beckens mit unterschiedlichen Kristallineinzugsgebieten
- Aufbereitung und Neu-Interpretation der relevanten geochemischen und mineralogischen Daten aus den ausgewählten Erkundungsgebieten
- Aufbereitung vorhandener Proben, ergänzende Probenahme in prospektiven Zielgebieten (Primär- und Sekundärrohstoffe)
- Ergänzungs-/Neuanalytik der ausgewählten Archivproben (Tone, Kaolintone, Grafite) sowie Analytik von Proben aus dem aktuellen Beprobungsprogramm im Hinblick auf ausgewählte kritische Rohstoffe (vor allem SEE)
- Chemische Analytik und mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen von Schwermineralproben aus Aufbereitungsabgängen der Leukophyllitgewinnung in Aspang
- Bewertung der sekundären Rohstoffpotenziale dieser Aufbereitungsabgänge
- Ergänzende Archiv- und Literaturrecherchen im Hinblick auf kritische Rohstoffe (aktualisierte Gesamtbibliographie)

Fundierte Überlegungen zu weiterführenden bundesweiten Prospektionsstrategien sind erwartungsgemäß erst nach systematischer Auswertung aller bisher erfassten Basisinformationen und der Ergebnisse zusätzlicher Ergänzungsuntersuchungen anzustellen. Angesichts des Fehlens wirtschaftlich interessanter Rohstoffvorkommen

bei vielen der 20 kritischen Rohstoffen bzw. Rohstoffgruppen erscheint der Zugang über die Evaluierung und Nutzung des Sekundärrohstoffpotenzials kritischer Rohstoffe in der österreichischen Mineralrohstoffindustrie (Altbergbauhalden/Aufbereitungsberge) noch immer der erfolgversprechendere Weg zu sein. Eine Gesamtdokumentation dieser Potenziale in einem aufzubauenden bundesweiten Haldenressourcen-Kataster ist in den kommenden Projektjahren schwerpunktmäßig geplant.

2. Seltene-Erden-Rohstoffe

2.1 Aktualisiertes Rohstoffprofil

Unter der Rohstoffgruppe der Seltenen Erden (SEE) werden 17 Elemente zusammengefasst, welche aus den 15 Lanthanoiden (Ordnungszahl 57 bis 71) sowie Scandium und Yttrium besteht, die aufgrund ihrer ähnlichen chemisch-physikalischen Eigenschaften sowie ihres gemeinsamen Vorkommens in der Regel als Gruppe behandelt werden. Cer, Lanthan, Neodym, Samarium, Praseodym und Europium (Cer-Gruppe) werden als leichte Seltene Erden zusammengefasst, während Yttrium, Ytterbium, Lutetium, Dysprosium, Gadolinum, Holmium und Erbium zur Gruppe der schweren Seltenen Erden gezählt werden.
Die überwiegende Zahl der SEE kommt in der oberen Erdkruste nicht wirklich selten vor. Die Häufigkeit in der Erdkruste reicht von Cer mit 64 ppm bis hin zum seltensten Element Lutetium mit einer Häufigkeit von ungefähr 0,32 ppm (WALL, 2014). Trotz der teilweise größeren Häufigkeit als Buntmetallelemente in der oberen Erdkruste, kommen wirtschaftlich interessante Elementkonzentrationen der SEE-Elemente relativ selten vor.

Derzeit sind weltweit über 250 SEE-Minerale bekannt, aber nur wenige erreichen ökonomisch verwertbare Dimensionen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Trägerminerale in wirtschaftlich genutzten bzw. in potenziell nutzbaren Lagerstätten mit den durchschnittlichen SEE-Gesamtgehalten. Die Seltenen Erden kommen meist nur gemeinsam vor und können daher auch nur zusammen wirtschaftlich gewonnen werden. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der je nach Hauptträgermineral unterschiedlichen Seltenen Erden-Gehalte in verschiedenen Hauptlagerstättentypen. Aus der Zusammenstellung ist auch ersichtlich, dass sich der SEE-Abbau vor allem auf vier Hauptträgerminerale konzentriert. Monazit und Bastnäsit enthalten vorherrschend die leichten SEE, während in Xenotim und Loparit vor allem die schweren SEE angereichert sind.

Mineral	Formel	Σ *SEE* %
Aeschynite	$(Ln,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$	36
Allanite (orthite)	$(Ca,Ln)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$	30
Anatase	TiO_2	3
Ancylite	$SrLn(CO_3)_2(OH)\cdot H_2O$	46
Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	19
Bastnasite	$LnCO_3F$	76
Brannerite	$(U,Ca,Ln)(Ti,Fe)_2O_6$	6
Britholite	$(Ln,Ca)_5(SiO_4,PO_4)_3(OH,F)$	62
Cerianite	$(Ce,Th)O_2$	81
Cheralite	$(Ln,Ca,Th)(P,Si)O_4$	5
Churchite	$YPO_4\cdot 2H_2O$	44
Eudialyte	$Na_{15}Ca_6(Fe,Mn)_3Zr_3(Si,Nb)Si_{25}O_{73}(OH,Cl,H_2O)_5$	10
Euxenite	$(Ln,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$	<40
Fergusonite	$Ln(Nb,Ti)O_4$	47
Florencite	$LnAl_3(PO_4)_2(OH)_6$	32
Gadolinite	$LnFeBe_2Si_2O_{10}$	52
Huanghoite	$BaLn(CO_3)_2F$	38
Hydroxylbastnasite	$LnCO_3(OH,F)$	75
Kainosite	$Ca_2(Y,Ln)_2Si_4O_{12}CO_3\cdot H_2O$	38
Loparite	$(Ln,Na,Ca)(Ti,Nb)O_3$	36
Monazite	$(Ln,Th)PO_4$	71
Mosandrite	$(Ca,Na,Ln)_{12}(Ti,Zr)_2Si_4O_{31}H_6F_4$	<65
Parisite	$CaLn_2(CO_3)_3F_2$	64
Samarskite	$(Ln,U,Fe)_3(Nb,Ta,Ti)_5O_{16}$	12
Synchisite	$CaLn(CO_3)_2F$	51
Thalenite	$Y_3Si_3O_{10}(OH)$	63
Xenotime	YPO_4	61
Yttrotantalite	$(Y,U,Fe)(Ta,Nb)O_4$	<24

Tab. 1: Trägerminerale von SEE in ökonomischen oder potenziell ökonomischen Lagerstätten (nach CASTOR & HEDRICK, 2006; Summe der SEE-Oxide in Gew.-%).

Ln Lanthaniden

Tab. 2: SEE-Gehalte in den Hauptträgermineralen unterschiedlicher SEE-Lagerstättentypen (aus GAMBOGI, 2013).

(Percentage of total rare-earth oxide)

	Bastnäsite		Monazite			
Rare earth	Mountain Pass, CA, United States[3]	Bayan Obo, Inner Mongolia, China[4]	North Capel, Western Australia[5]	North Stradbroke Island, Queensland, Australia[6]	Green Cove Springs, FL, United States[7]	Nangang, Guangdong, China[8]
Yttrium	0.10	trace	2.40	2.50	3.20	2.40
Lanthanum	33.20	23.00	23.90	21.50	17.50	23.00
Cerium	49.10	50.00	46.00	45.80	43.70	42.70
Praseodymium	4.34	6.20	5.00	5.30	5.00	4.10
Neodymium	12.00	18.50	17.40	18.60	17.50	17.00
Samarium	0.8	0.8	2.53	3.10	4.90	3.00
Europium	0.1	0.2	0.053	0.8	0.16	0.1
Gadolinium	0.2	0.7	1.49	1.80	6.60	2.00
Terbium	trace	0.1	0.035	0.3	0.26	0.7
Dysprosium	trace	0.1	0.7	0.60	0.9	0.8
Holmium	trace	trace	0.053	0.1	0.11	0.12
Erbium	trace	trace	0.2	0.2	trace	0.3
Thulium	trace	trace	trace	trace	trace	trace
Ytterbium	trace	trace	0.1	0.1	0.21	2.40
Lutetium	trace	trace	trace	0.01	trace	0.14
Total	100	100	100	100	100	100

	Monazite—Continued		Xenotime		Rare earth laterite	
	Eastern coast, Brazil[9]	Mount Weld, Australia[10]	Lahat, Perak, Malaysia[3]	Southeast Guangdong, China[11]	Xunwu, Jiangxi Province, China[12]	Longnan, Jiangxi Province, China[12]
Yttrium	1.40	trace	61.00	59.30	8.00	65.00
Lanthanum	24.00	26.00	1.24	1.20	43.4	1.82
Cerium	47.00	51.00	3.13	3.00	2.40	0.4
Praseodymium	4.50	4.00	0.5	0.6	9.00	0.7
Neodymium	18.50	15.00	1.60	3.50	31.70	3.00
Samarium	3.00	1.80	1.10	2.20	3.90	2.80
Europium	0.1	0.4	trace	0.2	0.5	0.10
Gadolinium	1.00	1.00	3.50	5.00	3.00	6.90
Terbium	0.1	0.1	0.9	1.20	trace	1.30
Dysprosium	0.4	0.2	8.30	9.10	trace	6.70
Holmium	trace	0.1	2.00	2.60	trace	1.60
Erbium	0.1	0.2	6.40	5.60	trace	4.90
Thulium	trace	trace	1.10	1.30	trace	0.7
Ytterbium	0.02	0.1	6.80	6.00	0.3	2.50
Lutetium	not determined	trace	1.00	1.80	0.1	0.4
Total	100	100	100	100	100	100

Die Rohstoffbasis für Seltene Erden stützt sich im Wesentlichen auf folgende Lagerstättentypen, wobei sich die Ressourcen weltweit auf zwei Lagerstättentypen (Karbonatit-, Alkaligesteinslagerstätten) konzentrieren (POHL, 2011):

- Karbonatitlagerstätten
- Alkaligesteinslagerstätten
- Pegmatitlagerstätten
- Skarnlagerstätten
- Hydrothermale Ganglagerstätten
- Alluviale Seifenlagerstätten
- Residuale Lagerstätten (Ionenaustauschertone/Ionen-adsorptive Lagerstätten)

Die Weltbergbauproduktion von SEE im Jahr 2015 wurde vom USGS auf 124.000 t (GAMBOGI, 2016) beziffert (vgl. Tab. 3). Rund 85 % der Weltproduktion stammt dabei aus China, das auch über 42 % der Weltreserven an SEE verfügt. Durch Produktionsreduktion in China und die Wiederaufnahme der SEE-Produktion in Australien (2011) und den USA (2012) hat sich die Monopolstellung Chinas in der SEE-Produktion merkbar verringert (2011 Weltmarktanteil – 95 %, vgl. auch REICHL et al., 2015). Die Produktion in China blieb jedoch in den Jahren 2011 bis 2015 relativ stabil. Australien hat mit der gesteigerten Produktion in der Lagerstätte Mount Weld die USA in der SEE-Weltproduktion 2014 und 2015 als Weltmarktzweiter überholt. Der Abbau in der größten US-Lagerstätte Mountain Pass musste Ende 2014 aufgrund der stark gesunken Weltmarktpreise kurzfristig eingestellt werden. In der EU gibt es derzeit keine SEE-Gewinnung, aber eine Reihe von konkreten Projektentwicklungen (Schweden, Grönland, Deutschland). Durch die Entspannung am Weltmarkt und die Konzentration auf

einige Großlagerstätten sind aber viele dieser Projekte nicht mehr wirtschaftlich und wurden deshalb zurückgestellt.

Seit dem Preishoch im Jahr 2011 haben sich die Preise in den nachfolgenden Jahren wieder starkt reduziert mit jeweiligen Preishalbierungen in den Jahren 2012 und 2013, wobei die Preise noch immer das 2,5-fache der Marktpreise vor 2010 ausmachen (LEHMANN, 2014). 2015 hat ein noch immer bestehendes Überangebot bei der SEE-Weltproduktion zu einem signifikanten Preisverfall bei SEE geführt, der zu einem nicht uneerheblichen Teil auch durch die illegale Produktion in China mitverursacht wurde. Nach den Angaben der ‚Rare Earth Industry Association of China' wird der SEE-Oxid-Verbrauch in China von 98.000 t (2015) auf 149.000 t (2020) zunehmen (GAMBOGI, 2016). Haupteinsatzbereiche in China sind aktuell Permanentmagnete (35 %), Abrasivstoffe (18 %) und Katalysatoren (15 %).

Tab. 3: SEE-Weltbergbauproduktion 2014-2015 und Weltreserven (aus: GAMBOGI, 2016).

	Mine production[e]		Reserves[5]
	2014	2015	
United States	5,400	4,100	1,800,000
Australia	8,000	10,000	[6]3,200,000
Brazil	—	—	22,000,000
China[7]	105,000	105,000	55,000,000
India	NA[8]	NA[8]	3,100,000
Malaysia	240	200	30,000
Russia	2,500	2,500	([9])
Thailand[10]	2,100	2,000	NA
Other countries	NA	NA	41,000,000
World total (rounded)	123,000	124,000	130,000,000

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der Produktionsdaten für 2012 nach einzelnen SEE-Elementen und Hauptproduzentenländern gegliedert. Die leichten SEE Cer, Lanthan und Neodym machen rund 81 % der SEE-Weltgesamtproduktion aus.

Tab. 4: SEE-Weltbergbauproduktion in Tonnen SEE-Oxide (aus: EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY, 2014b).

Rare Earth	China	USA	Australia*	India	Russia[a]	Total	%
Lanthanum	29,320	2,661	1,040	169	700	33,890	26 %
Cerium	41,875	3,934	2,040	363	1,436	49,648	38 %
Praseodymium	5,700	347	160	42	95	6,344	5%
Neodymium	19,750	960	600	139	220	21,669	17 %
Samarium	2,470	64	72	20	24	2,650	2%
Europium	340	8	16		3	367	0%
Gadolinium	2,215	14	40	9	5	2,283	2%
Terbium	340	2	4		2	348	0%
Dysprosium	1,350	2	8		2	1,362	1%
Erbium	860		8		2	870	1%
Yttrium	9,915	8	2			9,925	8%
Ho, Tm, Yb, Lu	1,715		10	8	11	1,744	1%
Total	**115,850**	**8,000**	**4,000**	**750**	**2,500**	**131,100**	-

*Source: Roskill Information Services / Dudley Kingsnorth, IMCOA (March 2013) & *USGS Data for Australia*
†This reflects uncertainty related to Chinese mineral and metal production statistics

SEE kommen in den beiden wesentlichen Lagerstättentypen (Karbonatit-Lagerstätten, Ionen-adsorptive lateritische Lagerstätten) in sehr unterschiedlichen Verteilungsmustern vor (vgl. Abb. 1). Während in den an Karbonatite gebunden Lagerstätten die leichten SEE stark angereichert sind, werden in dem Ionen-adsorptiven Lagerstättentypus die schweren SEE angereichert (HAXEL et al., 2002).

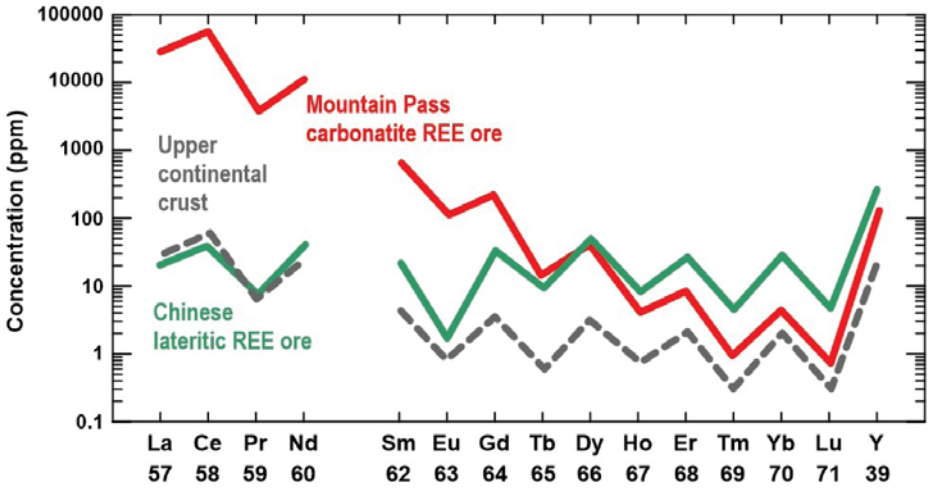


Abb. 1: Vergleich der SEE-Elementgehalte in den beiden dominanten SEE-Lagerstättentypen (Karbonatit-gebundene Lagerstätte Mountain Pass, USA; lateritische Ionen-adsorptive Lagerstätten in Südchina) mit den durchschnittlichen SEE-Gehalten in der oberen Kontinentalkruste (aus: HAXEL et al., 2002).

Die Preise innerhalb der SEE variieren zum Teil erheblich, was mit der geologischen Verfügbarkeit und dem sehr unterschiedlichen Anwendungsbedarf zusammenhängt. Da die SEE immer gemeinsam vorkommen und gemeinsam abgebaut werden, führt das zwangsläufig zu einer ungleichen Bilanz zwischen Marktnachfrage und einem Überangebot vor allem bei den leichten SEE Cer und Lanthan. Im gesamten Elementspektrum der SEE gibt es nur wenige Elemente mit einer hohen Nachfrage und dementsprechend hohen Marktpreisen. Hochpreisig wegen ihres spezifischen, noch nicht substituierbaren Einsatzbereiches sind vor allem Europium, Terbium, Neodym und Praseodym (ROSKILL, 2015). Der Marktwert der globalen SEE-Oxidproduktion betrug 2014 rund 4 Mrd. US $, wobei rund 1,9 Mrd. allein auf die beiden Elemente Neodym und Praseodmy fielen (ROSKILL, 2015). Zum Vergleich macht im selben Zeitrahmen das globale Marktvolumen der auf Basis von SEE produzierten Güter mehr als 7 Billionen US $ aus, was die die Bedeutung der SEE-Wertschöpfungskette für die globale Wirtschaft unterstreicht (KENNEDY, 2015).

Konform mit diesen Marktentwicklungen ist die Kritikalität der leichten und schweren SEE-Gruppe vor allem im Hinblick auf das Versorgungsrisiko unterschiedlich. Während sich die angespannte Versorgungssituation bei den häufiger vorkommenden leichten Seltenen Erden in den letzten Jahren deutlich verbessert hat, wird die Versorgungssituation bei den schweren Seltenen Erden noch immer als kritisch im Sinne der Kommissions-Studie von 2014 eingestuft (EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY, 2014c).

2.2 Sekundäre Ionen-adsorptive SEE-Lagerstätten

SEE werden wegen ihrer guten Adsorptionsfähigkeit an Tonmineralen, Oxiden und Hydroxiden sowie an Kolloiden (Fe-, Mn-, Al-Hydroxid-Gele), an organischem Material und an metallorganischen Komplexen u.a. in Lehmen, (pelagischen) Tonen, Bauxiten und Bentoniten gebunden. Diese adsorptive Bindung an Tonminerale reicht bis hin zu wirtschaftlich gewinnbaren Lagerstätten vom Typus ‚Ion adsorption type deposits' (VONCKEN, 2016).

Ionenadsorptive SEE-Lagerstätten haben weltweit eine sehr große ökonomische Bedeutung, da die Gewinnung von schweren SEE und Y vorwiegend an diesen Lagerstättentypus gebunden ist. Ionen-Adsorptionstone treten

vor allem in den lateritischen, tiefgründigen Verwitterungskrusten von SEE-angereicherten, hoch fraktionierten Graniten auf. Die Lagerstätten sind realtiv klein strukturiert mit 3000-12000 t SEE und relativ geringen SEE-Gehalte von 0,03-0,35 % (BGS, 2011). Dieser Lagerstättentypus ist vor allem wegen der hohen schweren SEE-Gehalte, aber auch wegen des geringen Anteils an radioaktiven Mineralphasen interessant (WALL, 2014). Die Mächtigkeit der SEE-reichen Zonen liegt meist in geringen Größenordnungen zwischen 8 und 10 m.

Die Anreicherung und Ionen-Adsorption an Tonen erfolgt im Zuge der tiefgründigen Verwitterung unter tropischen/subtropischen Verwitterungsbedingungen. Während dieser Prozesse werden die SEE^{3+}-Ionen mobilisiert, perkolieren in wässeriger Lösung den Verwitterungskörper und werden schließlich an der Oberfläche von Tonmineralen adsorpiert. Die Tonminerale entstehen im Zuge des Verwitterungsprozesses vor allem aus der Alteration von Feldspäten.

Ionen-Adsorption-Tone werden derzeit fast ausschließlich in China gewonnen und machen dort rund ein Drittel der gesamten SEE-Produktion aus. Bei den Schweren SEE-Elementen beträgt der Weltproduktionsanteil dieses Lagerstättentypus fast 80 % (WALL, 2014). Gewinnungstechnisch von Vorteil ist ihre seichte Lage sowie ihre leichte Gewinnbarkeit gegenüber Festgesteinslagerstätten. Die Gewinnung erfolgt teilweise auch mittels insitu-Laugung. Nachteilig für diesen Lagerstättentypus sind die gegenüber karbonatitischen Lagerstätten deutlich geringeren SEE-Gesamtgehalte und damit auch ein deutlich höherer Anfall von Bergbauabfällen.

Da in Österreich solche SEE-Ton-Assoziationen von vornherein nicht auszuschließen sind und auch wegen der räumlichen sowie genetischen Nähe vieler Tonlagerstätten zu Kristallingebieten mit SEE-Trägermineralen wurde im Zuge des gegenständlichen VLG-Projektes zusätzlich zu den bereits untersuchten SEE-Potenzialen im Bereich der Quarzsandindustrie auch die Möglichkeit eines SEE-Potenzials in österreichischen Kaolin-/Tonlagerstätten an ausgewählten Proben überprüft.

Eine systematische Untersuchung dieser Potenziale war aufgrund der reduzierten Möglichkeiten im Rahmen dieses VLG-Projektes nicht möglich. Anhand einiger orientierender Untersuchungen an Probenmaterial einiger Kaolin-/Tonlagerstätten im Einzugsbereich der Böhmischen Masse soll ein erster grober Überblick über die SEE-Verteilung in solchen Lagerstätten gegeben werden.

Viele der im Abbau befindlichen bzw. aufgeschlossenen österreichischen Tonlagerstätten wurden bisher ausschließlich nach geologischen/sedimentologischen und keramisch-technologischen, teilweise auch nach mineralogisch-geochemischen Kriterien umfassend untersucht. Eine systematische Spurenelement-Analytik in Tonen konnte in Österreich bis dato noch nicht flächenhaft durchgeführt werden, so dass daher die flächendeckende Datenbasis für SEE und andere Indikatorelementen in österreichischen Tonen fehlt.

2.3 SEE-Rohstoffpotenzial in Österreich – generelle Übersicht

Über die genaue Verteilung bzw. Konzentrationen der meisten SEE in Österreich ist bisher eigentlich noch immer sehr wenig bekannt. Dazu fehlen in Österreich systematische geochemische Untersuchungen des gesamten SEE-Spektrums und systematische Rohstoffpotenzialstudien zum primären und sekundären Rohstoffangebots (vgl. SCHEDL et al., 2013, 2014; LUIDOLD, 2013). Die Verteilung von SEE wurde im Zuge gesteinsgeochemischer Untersuchungen seit den 1970er Jahren sehr breitgefächert auch in Österreich mit untersucht, da die Verteilung der Seltenen Erden ein wichtiger Indikator für die Genese bestimmter Gesteine ist. Diese Daten wurden bis dato aber lediglich für genetische Interpretationen verwendet und liegen meist nur schwer zugänglich in verstreut publizierten Arbeiten vor. Die bisher vorliegenden gesteinsgeochemischen SEE-Daten liefern zumindest einen ersten Überblick über die durchschnittliche Verteilung in unterschiedlichen Gesteinen des Bundesgebietes. Die einzigen flächendeckenden Informationen über die Verteilung einiger Seltener Erden (Cer, Lanthan + Scandium, Yttrium) liegen bis dato nur aus der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie vor. Die Anreicherung von SEE-Anomalien in weiten Teilen der Böhmischen Masse und das weitgehende Fehlen größerer SEE-Anomaliebereiche im übrigen Teil des Bundesgebietes ist aus den Elementverteilungskarten

für Ce, La und Y sehr deutlich ersichtlich und wurden in den Vorberichten SCHEDL et al. 2013 und 2014 bereits im Detail abgehandelt.

Wirtschaftlich verwertbare SEE-Lagerstätten/Vorkommen in Primärlagerstätten sind in Österreich nicht zu erwarten, da in Österreich die Trägergesteine für die wirtschaftlich bedeutenden Lagerstättentypen (Karbonatite, Alkaligesteinskomplexe) fehlen. Auf das Fehlen dieser geologischen und petrologischen Voraussetzungen für wirtschaftlich interessante primäre SEE-Lagerstätten in Österreich wird auch in allen bisherigen Übersichtsstudien (BM F. HANDEL, GEWERBE U. INDUSTRIE, 1979, 1981a; THALMANN, 1992; STERK, 1994; CERNY & SCHROLL, 1995; LUIDOLD, 2013) verwiesen.

SEE kommen in Österreich in vielen akzessorischen Mineralen verschiedenster Gesteine vor, insbesondere in Graniten und metamorphen Gesteinen. In den letzten Jahrzehnten wurde in Österreich eine Reihe von SEE-Mineralen neu beschrieben (darunter auch die beiden Neuentdeckungen mit österreichischen Typlokalitäten Galgenbergit und Pretulit). Bei all diesen Funden handelt es sich aber um lokale, kleinsträumige mineralogische Vorkommen, die keine wirtschaftliche Bedeutung besitzen.

Von der Verbreitung her ist Monazit-(Ce) bei weitem das wichtigste SEE-Trägermineral in Österreich. Wichtigstes Trägermineral für schwere SEE in Österreich ist Xenotim-(Y), mit jedoch deutlich geringerer Verbreitung. Monazit und Xenotim sind sehr verwitterungsresistent und sehr beständig im Sedimenttransport. Beide finden sich daher auch sehr prominent im Schwermineralspektrum von Sedimenten aus Granit-Einzugsgebieten. Verstärkt durch morphologische Phänomene und spezifisches Verwitterungsverhalten der Ausgangsgesteine können sich Monazit und Xenotim zudem auch in Form von Sedimentseifen in den Bachsedimenten anreichern.

Monazit und Xenotim zeigen in Österreich eine auffallende Bindung an bestimmte Granitkomplexe (z.B. Weinsberger Granit) des südböhmischen Batholiths, ihre Verwitterungsprodukte sowie an Lockersedimentareale im unmittelbaren Einzugsgebiet dieser Granite. Die SEE-Anomalien (La, Ce, Y) in der Bachsedimentgeochemie der Böhmischen Masse gehen zum Großteil auf die SEE-Gehalte in diesen Schwermineralen zurück.

Neben den SEE-Mineralen gibt es aber auch eine Reihe anderer Minerale, in denen SEE in Gitterplätze substituierend eingebaut sind (siehe auszugsweise Literaturdaten in Tab. 5). Am häufigsten wird die Position von Ca im Gitter verschiedener Minerale durch SEE ersetzt, wie beispielsweise in Fluorit, Scheelit, Monazit und Epidot-Allanit (CESBRON, 1989). Y substituiert weiters Zr in Zirkon und Mn in Granat. Der Y_2O_3-Gehalt von Zirkonen kann bis zu 5 % erreichen, der von Spessartin bis 1,6 %. In der untersuchten Schlickerprobe aus Aspang spielen diese zusätzlichen SEE-Quellen aber eine untergeordnete Rolle (<0,4 % SEE).

Tab. 5: SEE-Spurenelemente in ausgewählten Schwermineralen (nach WEDEPOHL, 1974; CESBRON, 1989; GASSER, 1994; SCHITTER, 1997; NEINAVAIE, unpublizierte Analysendaten).

Cer	Apatit	bis 3000
	Fluorit	100
Lanthan	Apatit	1000
	Biotit	225
Neodym	Apatit	900
	Biotit	220
Yttrium	Almandin	1000
	Apatit	1440
	Spessartin	bis 16000
	Biotit	230
	Zirkon	bis 50000
Scandium	Pyroxene	100
	Apatit	490
	Cassiterit	bis 1300
	Wolframit	bis 2600
	Rutil	bis 1000
	Monazit	bis 1000

Pegmatite bzw. Pegmatoide im Ostalpin und in der Böhmischen Masse kommen grundsätzlich als SEE-Quellen ebenfalls in Frage, wenngleich keine Vorkommen von wirtschaftlicher Bedeutung zu erwarten sind. SEE sind nämlich in hochdifferenzierten Pegmatiten häufig abgereichert. Höhere Gehalte an SEE sind hingegen vor allem in phosphatreicheren Pegmatiten nachweisbar, in denen Apatit, Xenotim und Monazit als Akzessorien auftreten (z.B. St. Leonhard, St. Peter/Saualpe). In Schwermineralkonzentraten des Pegmatits vom Markogel bei Villach wurden 1000 ppm Y festgestellt (KHALILI, 1972). Die Pegmatite der Spodumenlagerstätte Weinebene enthalten hingegen nur sehr geringe SEE-Gehalte (GÖD, 1989).

3. Durchgeführte Arbeits- und Untersuchungsschritte im Projektjahr 2015/2016

3.1 Aktualisierung der bundesweiten Gesamtbibliographie zu den kritischen Rohstoffen

Die bereits umfangreiche Literaturdatenbank konnte auch im vergangenen Projektjahr insbesondere für die bearbeiteten Rohstoffgruppen wieder erheblich erweitert werden. Da sich ein zunehmend wachsender Forschungszweig in Österreich mit den Stoffflüssen, der Aufbereitung und dem Recycling von ‚Kritischen Rohstoffen' beschäftigt, wurden auch ausgewählte Arbeiten dieses vorwiegend universitären Forschungsbereichs in der Literaturdatenbank mitberücksichtigt.

Für den aktuellen Jahresbericht gibt es eine aktualisierte Literaturliste für SEE in Tonen, Leukophylliten sowie Grafit und übergeordnete Arbeiten zum Thema ‚Kritische Rohstoffe'.

Die ergänzenden Archiv- und Literaturrecherchen im Hinblick auf kritische Rohstoffe wurden in der bisher bewährten Vorgehensweise durchgeführt:

- Aktualisierung der bestehenden Datenbank durch Literaturabfragen im ADLIB und anderen Fachinformationssystemen
- Literaturrecherchen bezüglich SEE in Tonen, Leukophylliten sowie Grafit in Österreich (MINDAT, ADLIB, GEOREF, ALEPH) und Übernahme der Daten in die Arbeitsdatenbank
- Literaturergänzung bei neueren monographischen Arbeiten zu den kritischen Rohstoffen
- Ergänzung universitärer Arbeiten (2000-2016) in Österreich zum Thema Recycling, Aufbereitung und Stoffflüssen bei ‚Kritischen Rohstoffen'
- Ergänzende Auswahl von Arbeiten mit gesteins- und mineralchemischen Untersuchungen (Auswahlprinzip - Analysen von kritischen Elementen/Elementgruppen) unter besonderer regionaler Berücksichtigung von Tonvorkommen im Umlandbereich der Böhmischen Masse, im Bereich des Steirischen Beckens sowie den niederösterreichischen Grafitvorkommen

Ein Teilauszug des Literaturregisters zu den im Projektjahr untersuchten kritischen Rohstoffen SEE und Grafit und zu allgemeinen übergeordneten Arbeiten befindet sich in Kapitel 5.

3.2 Orientierende Probenahme bzw. Archivprobenauswahl für geochemische und mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen

In Ergänzung zu den bisherigen Schwerpunktsetzungen waren die Untersuchungen im vergangenen Projektjahr wieder auf die Rohstoffgruppe SEE fokussiert, wobei diesmal Kaolin/Tone im Sinne einer Ionen-adsorptiven Bindung von SEE an die Tonfraktion und ausgewählte Sekundärrohstoffe aus der Leukophyllitaufbereitung im Mittelpunkt der Untersuchungen standen. Probenmaterial aus aktuellen Rohstoffbetrieben wurden dankenswerter Weise direkt von der Aspanger Bergbau und Mineralwerke GesmbH & Co KG zur Verfügung gestellt (vgl. Abb. 2).

Aus dem Probenarchiv der Geologischen Bundesanstalt wurden weiters zwei Proben von Kaolintonen aus der Lagerstätte Karlstetten (KA-1/83 -17,9-20,4 m; KA-3/83 - 19,5-20,9 m) und eine Tonprobe (Pielach Formation) aus einer Bohrung bei Mörtersdorf (MR-1/83 – 7-10 m) im Hinblick auf die Ionen-adsorptive Bindung von SEE

und anderen kritischen Rohstoffelementen ausgewählt. Die Proben stammen aus früheren Prospektionsbohrungen der AUSTROMINERAL (1983-1984) (Abb. 3 und 4). Vergleichsdaten zu Kaolintonen stammen von früheren Untersuchungsprogrammen im Bereich der Kaolinlagerstätte Kriechbaum (HÖHN, 2013; SCHEDL et al., 2014; Abb. 5).

Im Rahmen ergänzender Geländebefahrungen für ein laufendes Projektvorhaben wurden im Bereich der Grafitlagerstätte Weinberg (Lager I) / Amstall - Trandorf zusätzlich sulfidreiche Partien der Grafitmineralisation für chemische Analysen beprobt (Probe Nr. 3620131001 und 3620131002).

Für weitere Übersichtsuntersuchungen des Spurenelementchemismus konnten aus der Lagerstättensammlung der Geologischen Bundesanstalt zusätzlich 10 Grafitproben aus dem Bereich der Böhmischen Masse ausgewählt werden (siehe Tab. 6, Abb. 6).

Tab. 6: Ausgewählte Grafitproben aus der Lagerstättensammlung der Geologischen Bundesanstalt.

Probe_Nr.		Probenehmer
007/2001-1001	Zettlitz-Fichtelmühle	Holzer
007/2001-1002	Zettlitz-Fichtelmühle	Holzer
008/2003-1001	Autendorf	Holzer
008/2005a-1001	Ober-Thumeritz	Holzer
036/2004-1001	Doppl	Holzer
036/2008-1001	Schneeberg	Holzer
036/2011-1001	Elseneith	Holzer
036/2020-1001	Straßreith	Holzer
036/2025-1001	Pöbring	Holzer
054/2005-1001	Rottenhof	Holzer

Abb. 2: Lage der Probenahmepunkte im Bereich der Aufbereitung der Aspanger Bergbau- und Mineralwerke GesmbH & Co KG (Foto: Aspanger Bergbau- und Mineralwerke GesmbH & Co KG).

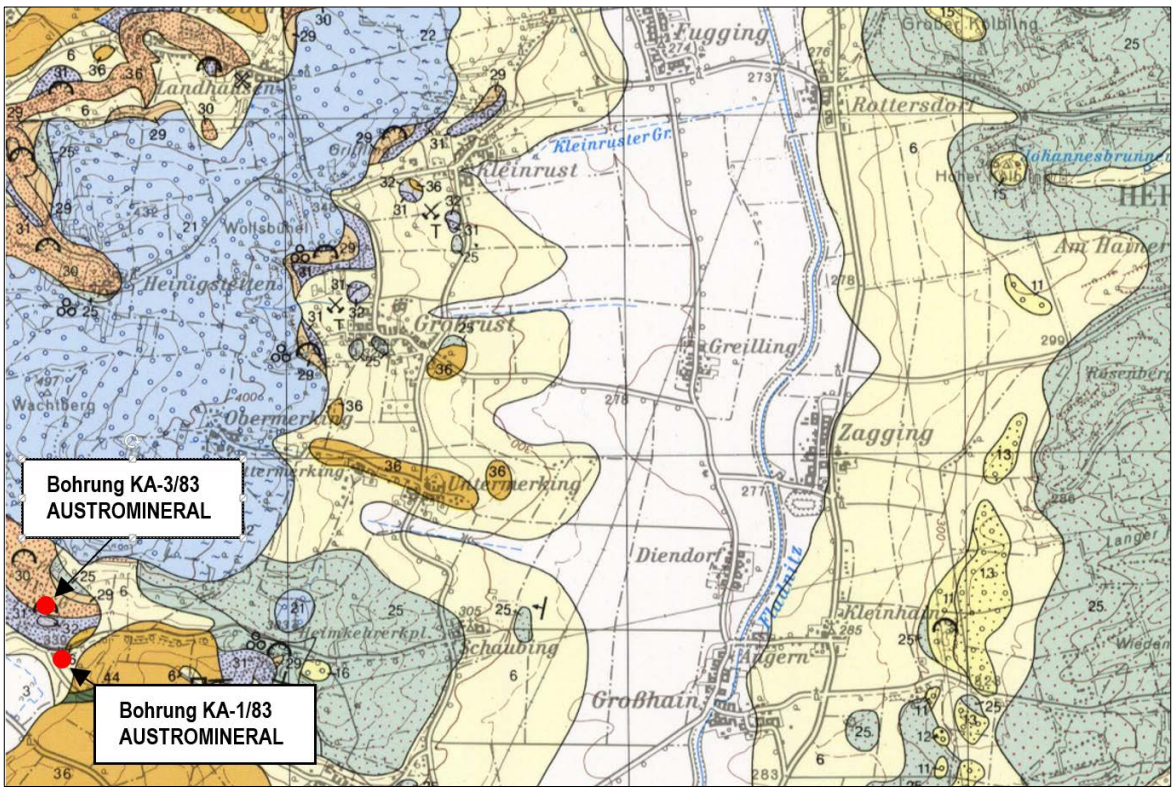


Abb. 3: Lage der Kaolintonbohrungen E Karlstetten (AUSTROMINERAL 1984; GK 38 Krems).

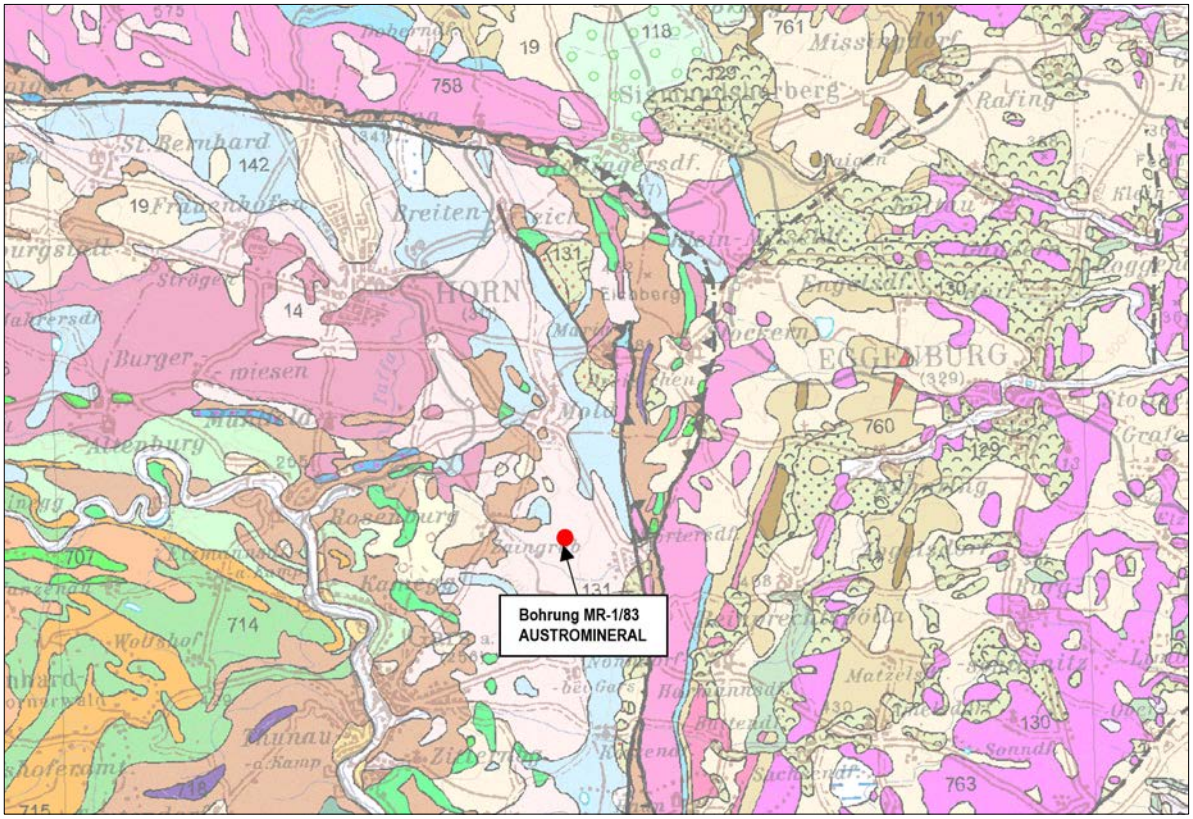


Abb. 4: Lage der Tonbohrung NW Mörtersdorf (AUSTROMINERAL 1984; GK 200 NÖ).

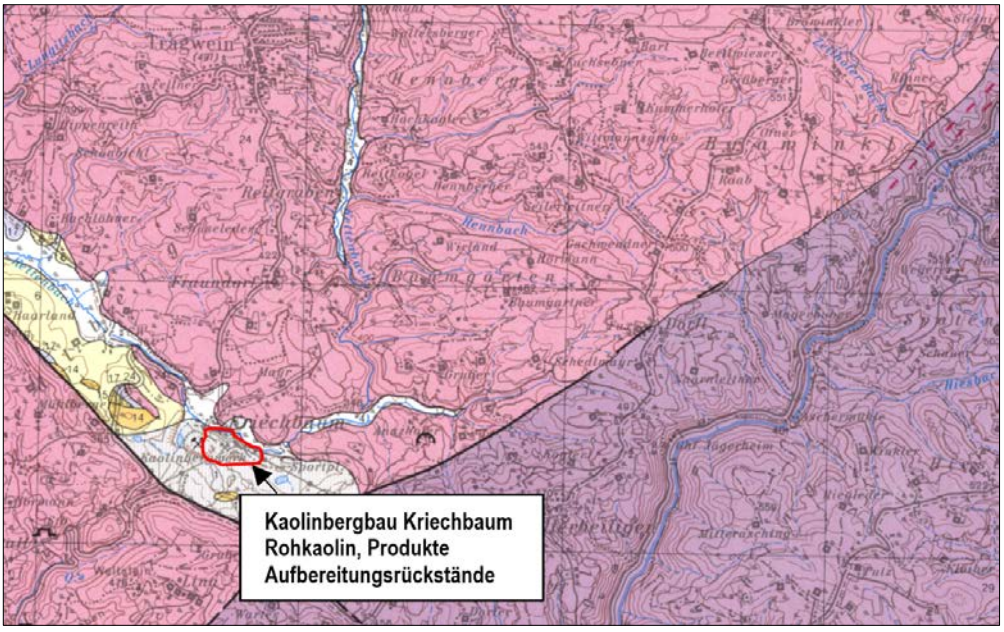


Abb. 5: Lage des Probenahmeareals (Rohkaoline, Produkte, Aufbereitungsabgänge) in der Kaolinlagerstätte Kriechbaum (HÖHN, 2013; SCHEDL et al., 2014, GK 33 Perg).

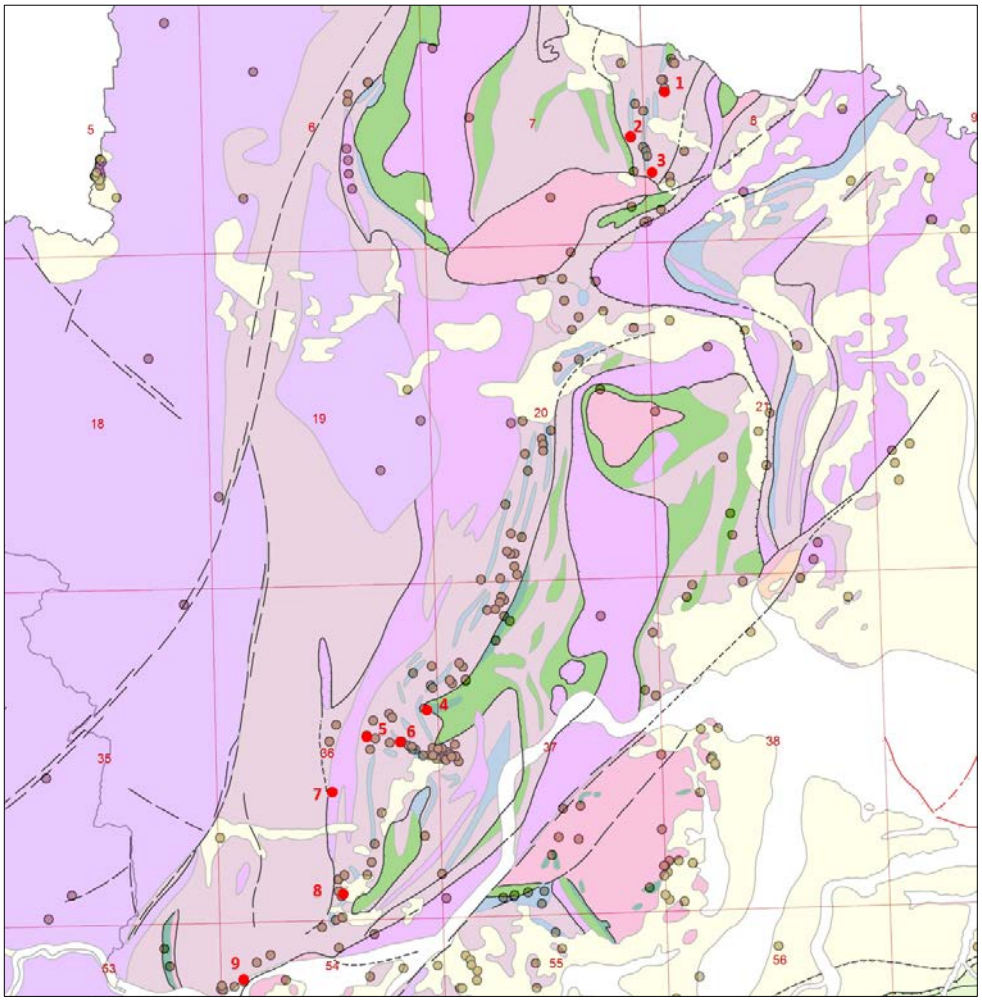


Abb. 6: Lage der Grafitprobepunkte (GBA-Lagerstättensammlung; IRIS).
1 Autendorf, 2 Zettlitz, 3 Ober-Thumeritz, 4 Doppl, 5 Schneeberg, 6 Weinberg Lager I, 7 Straßreith, 8 Pöbring, 9 Rotenhof 2 #

3.3 Geochemische Analytik

Die gesamte Analytik erfolgte im Labor der FA Geochemie der Geologischen Bundesanstalt mittels RFA, ICP-MS und LECO (C- und S-gesamt). Da der Fokus der Untersuchungen vor allem auf Spurenelementgehalte von ‚Kritischen Rohstoffen' ausgelegt war, wurden nur von 4 der Proben auch Gesamtgehalte mittels RFA gemessen, von den übrigen Proben liegen lediglich ICP-MS-Messungen von Spurenelementen vor.
Insgesamt wurden in der Geologischen Bundesanstalt - FA Geochemie bei 17 Proben Spurenelementgehalte untersucht. Bei insgesamt 16 Proben wurde die chemische Analytik jeweils an der Gesamtprobe durchgeführt, bei einer Probe an einem angereicherten Schwermineralkonzentrat (Tab. 7).

Die Analytik der kritischen Rohstoffelemente erfolgte nach Vollaufschluss mittels ICP-MS. Zum Aufschluss wurde 100 mg der analysenfeinen Probe befeuchtet und mit 2,5 ml HNO_3 (65 %), 2,5 ml $HClO_4$ (60 %) und 5 ml HF (40 %) fast zur Trockene eingedampft. Im Anschluss wurde der Rückstand noch 2 Mal mit je 5 ml HNO_3 (65 %) abgeraucht, der Rückstand schließlich mit 0,5 ml HNO_3 (65 %) gelöst und mit H_2O auf 50 ml aufgefüllt. Aufgrund teilweiser Probleme mit der Schwermineralfraktion musste dieses Aufschlussverfahren teilweise pro Probe je 2 Mal durchgeführt. Die resultierende Lösung der Probe war dann Stammlösung zur Bestimmung der Elementgehalte mittels ICP-MS. Diese Methode ist analog zu der im Rahmen der bundesweiten geochemischen Bachsedimentuntersuchungen durchgeführten Aufschlussmethodik.

Die Bestimmung der einzelnen Parameter erfolgte mit dem ICP-MS 7500 (Agilent). Bestimmt wurden in der maximalen Variante 45 Parameter: As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, In, La, Li, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr. Bei einigen Proben wurden auch RFA-Analysen der Hauptelemente durchgeführt, der Fokus der Untersuchungen lag aber bei der Ermittlung des Spurenelementchemismus.

Tab. 7: Übersicht der analysierten Gesamtproben bzw. des Schwermineralkonzentrats.

Probe_Nr	Prob_Original_Bez	Analytik Gesamtprobe		Analytik SM-Konzentrat
		H	SP	
KA-1/83	Karlstetten		x	
KA-3/83	Karlstetten		x	
MR-1/83	Mörtersdorf		x	
015002G	Ober-Thumeritz		x	
015003G	Doppl		x	
007/2001-1001	Zettlitz-Fichtelmühle		x	
151061001	Aspang Schlicker	x	x	
151061002	Aspang Sand 0-6mm	x	x	
151061001_SM	Aspang Schlicker - Schwermineralkonzentrat		x	x
3620131001	Weinberg Lager I	x	x	
3620131002	Weinberg Lager I	x	x	
007/2001-1002	Zettlitz-Fichtelmühle		x	
008/2003-1001	Autendorf		x	
008/2005a-1001	Ober-Thumeritz		x	
036/2004-1001	Doppl		x	
036/2008-1001	Schneeberg		x	
036/2011-1001	Elsenreith		x	
036/2020-1001	Straßreith		x	
036/2025-1001	Pöbring		x	
054/2005-1001	Rottenhof		x	

3.4 Mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen

Die Aufbereitung und Präparation des Probenmaterials für mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen variiert entsprechend der unterschiedlichen Probenmedien und Fragestellungen (Abb. 7). Die im vergangenen Projektjahr ausgewählten Proben bestehend aus Aufbereitungsabgängen der Leukophyllitaufbereitung in Aspang wurden routinemäßig aufbereitet und präpariert. Die methodische Vorgangsweise für diese Untersuchung orientiert sich an folgenden (spezifischen) Arbeitsschritten:

Aufbereitung und Präparation:

- Trocknung aller Proben im Trockenschrank bei max. 60 Grad, wenn notwendig
- Siebung der Proben im Labor auf <0,7 mm bzw. <0,35 mm
- Teilen/Vierteln aller Proben in Untersuchungs- und Rückstellproben
- Trennung aller Proben nach spezifischem Gewicht in Fraktionen σ >2,98 und σ <2,98 mittels Schwereflüssigkeit
- Trennung der Sedimentproben in magnetische und nichtmagnetische Fraktionen (mit Handmagnetscheider)
- Trennung der nichtmagnetischen Fraktion der Sedimentproben in die Teilfraktionen < 0,06 mm und > 0,06 mm
- Präparation aller Proben und Herstellung von Dünnschliffen, polierten Dünnschliffen und Anschliffen

Mineralogische Untersuchung:

- visuelle Durchsicht aller Proben mittels Binokular, zusätzlich auch mit UV-Licht
- lichtoptische Untersuchungen (mit Auflicht- und Durchlichtmikroskop) – Identifizierung der Phasen
- Mikrosonden- und elektronenmikroskopische Untersuchungen einschließlich Phasen-Analytik mittels EDAX-Zusammensetzung der Phasen und Spurenelementgehalte (Schnellübersichten und Detailphasenuntersuchungen)

Interpretation und Dokumentation:

- Auflistung aller bestimmten (Mineral-)Phasen einschließlich Beschreibung der jeweiligen Spurenelementgehalte
- Quantifizierung der Hauptphasen
- Ableitung der Quellen der jeweiligen Zielrohstoffe

Eine quantitative Gesamtdokumentation der einzelnen Aufbereitungsschritte ist Tabelle 8 zu entnehmen. Soweit erforderlich wurden zur besseren Differenzierung der auftretenden Mineralphasen magnetische und nichtmagnetische Schwermineralfraktionen gesondert bearbeitet. Sehr gut bewährt hat sich auch diesmal die Erstellung von zeitsparenden Übersichtselementverteilungen der polierten Anschliffe mittels Mikrosonde/EDAX. Damit konnten die relevanten Mineralphasen für die nachfolgenden Detailuntersuchungen besser identifiziert werden. Die BSE-Bilder dieser Übersichtsverteilungen wurden zudem auch zum manuellen Auszählen der Schwermineralphasen verwendet. Die Angaben zum Schwermineralgehalt beziehen sich bei den vorkonzentrierten Schwermineralproben auf den Siebdurchgang <0,7 mm. Für die Durchführung umfassender chemischer Analysen ist eine Mindestmenge von Schwermineralkonzentraten von 10-15 g erforderlich, bei geringeren Ausgangsmengen kann nur selektive Sprurenelementanalytik mittels ICP-MS gemacht werden.

Tab. 8: Quantitative Gesamtdarstellung der Probenaufbereitung bezogen auf die jeweiligen Aufbe-Reitungsteilschritte.

Probe_Nr	Ausgangsmenge Siebdurchgang <0,7 mm	Schwermineral Konzentrat <0,063 mm	Schwermineral-Anteil % *	Phase 1 (magnetische Fraktion <0,063 mm)	Phase 2 (nichtmagnetische Fraktion <0,063 mm)
0150012-1	998g	1,4g	0,14		
0150012-2	2845g	3,8g	0,14	300mg	3500mg
0150012-3	3400g	6,6g	0,19		

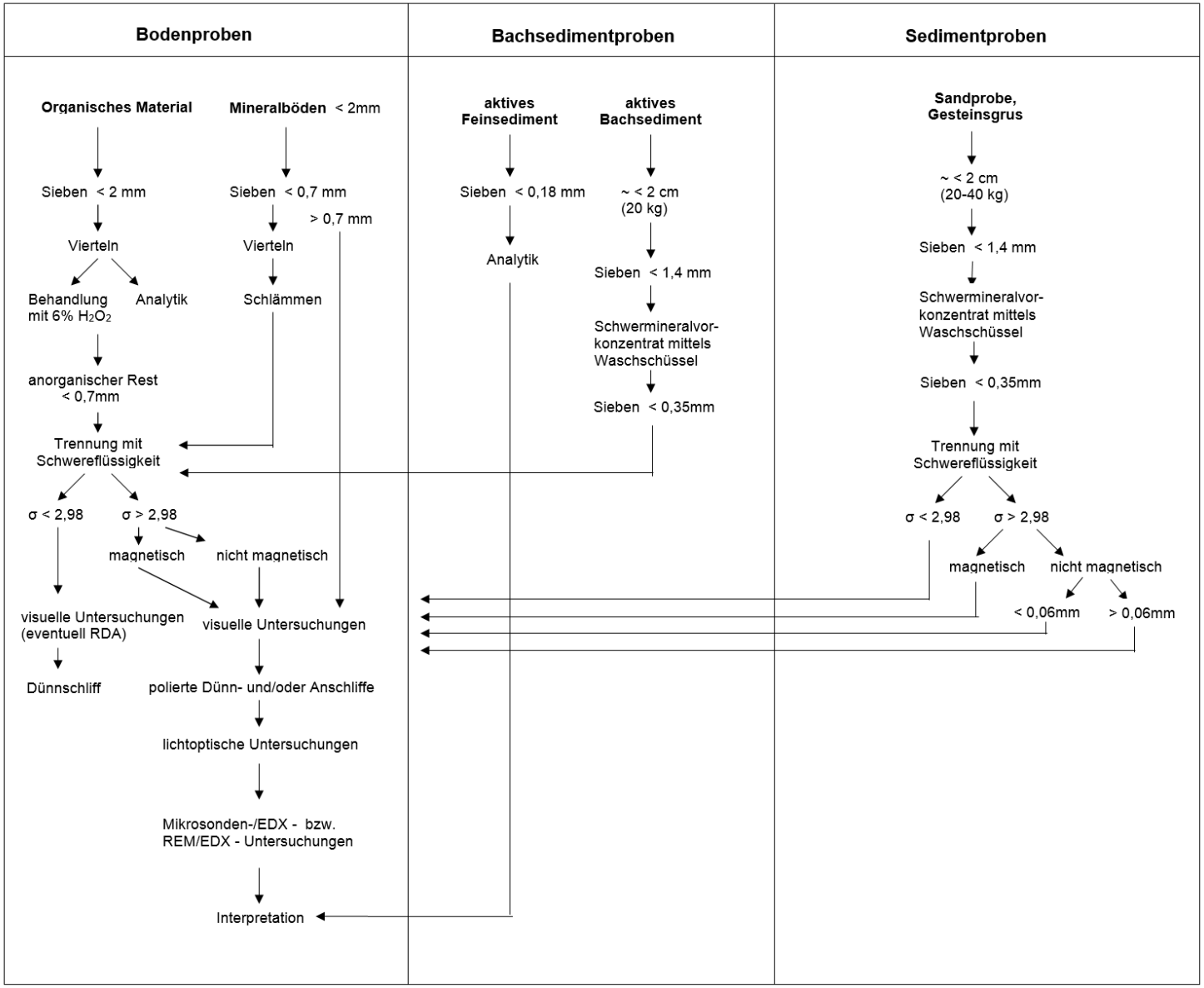


Abb. 7: Aktualisiertes Ablaufschema für mineralogisch-mikrochemische Untersuchung von Boden-, Bachsediment- und Sedimentproben.

4. Ergänzende Untersuchung ausgewählter primärer und sekundärer Rohstoffressourcen (Ton, Kaolin, Leukophyllit, Grafit) in Niederösterreich/Oberösterreich im Hinblick auf SEE und andere kritische Rohstoffe

4.1 Potenziale von SEE und anderer kritischer Rohstoffelemente im Bereich österreichischer Kaolin/Ton-Rohstoffvorkommen

Die Projektarbeiten des vergangenen Jahres widmeten sich unter anderem einem kleinen Ergänzungsprogramm zu den bereits abgeschlossenen Arbeiten über der sekundären SEE-Rohstoffpotenziale in der Quarzsand-/Kaolinindustrie mit besonderer Berücksichtigung kritischer Rohstoffe in den Aufbereitungsabgängen. Der Fokus der vorjährigen Untersuchungen lag in der Evaluierung von SEE-Potenzialen in Ton-/Kaolinvorkommen im unmittelbaren Einzugsbereich der Moldanubikums, speziell im Hinblick auf ionen-adsorptive SEE-Bindung.

Primäre Rohstoffpotenziale bei den kritischen Rohstoffen SEE sind - wie bereits erwähnt - aufgrund der fehlenden geologischen Voraussetzungen für wirtschaftlich interessante Lagerstätten in Österreich von vornherein - trotz der sehr hohen SEE-Anreicherungen im Bereich der Böhmischen Masse - als sehr limitiert anzusehen. Schwerminerale in Quarzsanden (vor allem von Trägermineralen kritischer Rohstoffe) können jedoch durchaus von wirtschaftlichem Interesse sein, wenn diese im Zuge der Qualitätsverbesserung von Quarzsandrohstoffen durch Aufbereitungsprozesse abgetrennt werden. Bei Großaufbereitungsanlagen mit entsprechend hoher Kapazität resultieren aus der gesamten Kette der Quarzsand-Qualitätsverbesserung durchaus bedeutende Mengen an Bergematerial mit einer teilweise stark angereicherten Schwermineralfraktion.

In Österreich bis dato relativ wenig untersucht wurde die Möglichkkeit der Ionen-adsorptiven Bindung von SEE und anderer kritischer Rohstoffe an Tonmineralen. Analog zu chinesischen Ionenadsorptionston-Lagerstätten wurde bereits in der Studie von LUIDOLD (2013) empfohlen, österreichische Kaolinvorkommen in der Böhmischen Masse im Hinblick auf erhöhte SEE-Gehalte zu untersuchen.

Für eine erste ansatzweise Bearbeitung dieser besonderen Bindungsformen wurde ein zweifacher Untersuchungszugang gewählt. Auf Basis der Bach- und Flusssedimentgeochemie wurden das prinzipielle Stoffangebot in den großen neogenen Ablagerungsräumen im unmittelbaren Einzugsgebiet von Kristallingebieten - hier insbesondere der Bereich der Böhmischen Masse - auf Basis von analysierten SEE-Elementen in aktiven Bachsedimenten ermittelt.

Zusätzlich wurden aus dem Probenarchiv der Geologischen Bundesanstalt nach geologisch-mineralogischen Gesichtspunkten drei Proben aus Ton/Kaolin-Prospektionsbohrungen ausgesucht, bei denen die Tonablagerung/Kaolinbildung unmittelbar über dem kristallinen Untergrund erfolgte und eine Beeinflussung duch entsprechende Schwerminerallieferungen aus dem unmittelbarem Einzugsbereich der Böhmischen Masse zu erwarten war. Als ergänzende Vergleichsdaten standen Analysenergebnisse von SEE-Untersuchungen von Rohkaolin und Aufbereitungsprodukten des Kaolinabbaus in Schwertberg zur Verfügung (HÖHN, 2013; HÖHN, FRIMMEL & PASAVA, 2014; SCHEDL et al. 2014).

4.2 Ergänzende Auswertung der bundesweiten Bachsedimentgeochemie in ausgewählten Neogen-/Quartärgebieten im Hinblick auf SEE und andere kritische Elemente

Aufgrund des Fehlens umfassender Multielementanalysen von Tonen in Österreich, insbesondere von SEE und anderen kritischen Elementen wurde in einem ersten Auswerteschritt versucht, ausgewählte Multielement-Daten der bundesweiten Bachsedimentgeochemie zur ersten Abschätzung des prinzipiellen

Spurenelementangebots in Tonvorkommen auf Basis aktueller Stoffflüsse in Bachsedimenten zu verwenden. Neben den bundesweit vorliegenden Daten der Fraktion < 0,18 mm wurden diesmal auch die Daten der Feinfraktion < 0,04 mm herangezogen, die aber bundesweit nicht flächendeckend vorliegen. Die Feinfraktion < 0,04 mm repräsentiert im Wesentlichen feinschluffig bis tonige Bachsedimente. Die Analytik dieser Feinsedimente könnte damit auch sehr gut das theoretische Potenzial der an die Tonfraktion gebundenen Elemente erfassen. Mit der Analyse der Bachsedimentgeochemie-Daten sollen daher in einem ersten orientierenden Schritt die geochemischen Rahmenbedingungen für die Bildung von Ionen-adsorptiven Lagerstätten in Tonvorkommen im unmittelbaren Einzugsgebiet der Böhmischen Masse sowie in Kristallin-nahen Einzugsgebieten des Steirischen Beckens grundsätzlich erkundet werden.

Zur spezifischen GIS-gestützten Auswertung der Daten wurden dabei folgende Informationsebenen ausgewählt:

- Datenlayer Neogen/Quartär auf Basis einer aktuellen geologischen Karte 1.500.000 (Quelle: ‚Karte der trinkbaren Tiefengrundwässer Österreichs 1:500.000; SCHUBERT, 2015)
- Selektiver Datensatz der Bach- und Flusssedimentgeochemiedaten ausschließlich betreffend die Neogen/Quartär-Gebiete
- Historische und aktuelle Tonabbaue in Österreich (Quelle: Abbaudatenbank FA Rohstoffgeologie)

Für eine erste Übersichtsdarstellung und als Vorbereitung für die weiteren Auswerteschritte wurde der Auszugsdatensatz der geochemischen Basisaufnahme einheitlich vorstrukturiert. Zur kartenmäßigen Dokumentation der Analysenergebnisse der <0,18 und <0,04 mm-Fraktion wurden für den selektierten Datensatz auf Basis der univariaten Summendarstellungen parameterspezifische Klassen mittels ArcMap automatisiert nach der Methode ‚Natural Breaks' abgeleitet. Um Muster in der geochemischen Elementverteilung besser zu erkennen, wurden einheitlich 8 Klassen definiert. Die Verrechnung erfolgte vorläufig auf Basis des für die Neogen/Quartärgebiete selektierten Datensatzes. Für die Visualisierung der klassifizierten Analysenergebnisse in Punktsymboldarstellungen wurden einheitlich die 3 höchsten Elementklassen verwendet. Vorrangig ausgewählt wurden vor allem Elemente aus der Gruppe der ‚Kritischen Rohstoffe'. Zum Vergleich wurde der gleichfalls selektierte Datensatz betreffend das Steirische Becken ausgewählt. SEE-Elemente standen hier vom geogenen Grundangebot her aber nicht im Vordergrund, sondern vor allem andere vorwiegend an die Tonmatrix der Bachsedimente gebundene Rohstoffe mit einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung, aber mit einem noch nicht kritischen Versorgungsrisiko (z.B. V, Li).

Mit Hilfe der Auswertung der Einzelelement-Ergebnisse sind in der konkreten Fragestellung meist schon hinlänglich fundierte Aussagen möglich. Zum Verständnis der Zusammenhänge innerhalb der Datensätze reichen die univariaten Darstellungen allein freilich nicht aus. Deshalb wurden für die Datensätze <0,18 mm eine Datengliederung und Interpretation mit Hilfe der Multivariat-Geostatistik vorgenommen. Als sehr brauchbares Gliederungsinstrument hat sich in vielen früheren Anwendungen die Faktoren- (Hauptkomponenten-) Analyse bei der Charakterisierung größerer Datensätze der Bach- und Flusssedimentgeochemie bewährt. Die Hauptkomponenten-Analyse hilft interne Muster und Datengruppierungen innerhalb der sehr komplexen Datensätze besser zu erkennen. Die Berechnungen wurden in einem ersten Arbeitsschritt mit denselben Parametergruppen und Faktorenladungen verrechnet wie bei der Gesamtdarstellung der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie. Zur verbesserten Darstellung der Verteilungsmuster in den selektierten Neogen/Quatärbereichen wurde anschließend die Hauptkomponentenanalyse nochmals neu für diesen Datenauszug verrechnet.

Zum statistischen Vergleich der untersuchten Parameter in den unterschiedlichen Datensätzen wurden getrennte Box-Plots-Darstellungen für SEE und teilweise auch für andere Elemente erstellt. Separiert betrachtet wurden dabei der Gesamtdatensatz < 0,18 mm der Böhmischen Masse, der Teildatensatz

Neogen/Quartär im unmittelbaren Einzugsbereich der Böhmischen Masse sowie der Teildatensatz des Neogens/Quartärs im erweiterten Einzugsbereich südlich der Böhmischen Masse. Für den Bereich des Steirischen Beckens wurden wegen teilweise signifikanter Unterschiede in den beiden Kornfraktionen die Box-Plots-Darstellungen beider Fraktionen <0,18 sowie <0,04 mm verwendet.

4.2.1 Neogen/Quartärgebiete im Einzugsbereich der Böhmischen Masse

Im Rahmen des Projektes ‚Umweltgeochemie Steiermark' (SCHEDL et al., 2010) wurden auf Basis der regional dichten geochemischen Analysen der beiden Fraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm auch Überlegungen über die sedimentologische Zusammensetzung der Bach- und Flusssediment angestellt. Eine wichtige Grundlage zur Bewertung von Spurenelementverteilungen (insbesondere Schwermetallverteilungen) in Bach- und Flusssedimenten bildet dabei die Charakterisierung der Sedimentmatrix. Diese gibt Auskunft über das jeweilige Rückhaltevermögen → Sorption an Tonmineralen und/oder Schichtsilikaten. Als Indikator für Tonmineral- und Schichtsilikatgehalte wurde dabei die Summe Al_2O_3 + K_2O herangezogen. In einem ersten Auswerteschritt erfolgte eine Neuverrechnung dieser Summenparameter für die selektierten Datensätze aus dem Neogen/Quartär. Da geochemische Analysen zur Feinfraktion <0,04 mm von Oberösterreich nicht vorliegen, bezieht sich dieser Summenparameter im Umfeld der Böhmischen Masse ausschließlich auf die Kornfraktion <0,18 mm (Abb. 8).

Im Verteilungsmuster dieses Summenparameters für die Kornfraktion <0,18 mm sind Bachsedimente mit einer Ton-/Schicktsilikat-reichen Sedimentmatrix vor allem in einem schmalen Randsaum zum Kristallin und in einigen kleineren Neogenbecken innerhalb des Kristallins indiziert. Für den Großteil der Molassezone fehlen jedoch diese Hinweise auf eine Ton-/Schichtsilikat-reiche Sedimentmatrix in den aktiven Bachsedimenten.

Bei der Auswertung der Bachsedimentgeochemie in den Neogen/Quartär-Gebieten hinsichtlich SEE-Führung mussten einige datenbankmäßige Modifikationen vorgenommen werden. Aufgrund der vor allem durch die Schwermineralführung verursachten extrem hohen Gehalte an Cer, Lanthan und Yttrium im Bereich der Böhmischen Masse war eine getrennte Betrachtung der sedimentären Ablagerungsräume im Umfeld der Böhmischen Masse notwendig. Durch die Selektion der Datensätze für die Neogen- und Quartärgebiete wurden diese extremen SEE-Anomaliegebiete aus dem Arbeitsdatensatz herausgefiltert. Eine gemeinsame Verrechnung mit den extrem hohen SEE-Gehalten im Bereich der Böhmischen Masse würde nämlich aufgrund des großen Rangebereichs in den Elementverteilungen die geochemischen Interstrukturen im Neogen/Quartär weitgehend überdecken.

Exemplarisch für den multivariat verrechneten Datensatz aus dem Gesamtbereich der Böhmischen Masse und deren sedimentären Umfeldes wurde der Faktor 2 ausgewählt, der eine Reihe von kritischen Rohstoffelementen enthält und auch Hauptelemente der wichtigsten Trägerminerale mitberücksichtigt (Abb. 9, 10). Der Faktor 2 ist beispielsweise sehr indikativ für die SEE-Verteilung (La, Ce, Y) und führt als positive Faktorenladung auch Haupt- und Begleitelemente der wichtigsten Trägerminerale für SEE im Bereich des Moldanubikums (z.B. Ti, P, Zr und Th indikativ für die SEE-Hauptträgerminerale Monazit, Xenotim, Apatit, Rutil, Ilmenit, Zirkon).

Wie bereits in den Vorberichten erwähnt, sind bei der Interpretation der univariaten und multivariaten Analysen der Bachsedimentgeochemiedaten aus dem Bereich der Böhmischen Masse jedoch mehrere wichtige geologische, morphologische und verwitterungsbedingte Einflussfaktoren zu beachten, ohne deren Kenntnis Fehlinterpretationen bei der Datenauswertung möglich sind (SCHEDL et al., 2013, 2014). Die Probenzusammensetzung der Bachsedimente in der Böhmischen Masse war nämlich für die verschiedenen geologischen und morphologischen Bereiche des Mühl- und Waldviertels äußerst unterschiedlich (PIRKL, 1991).

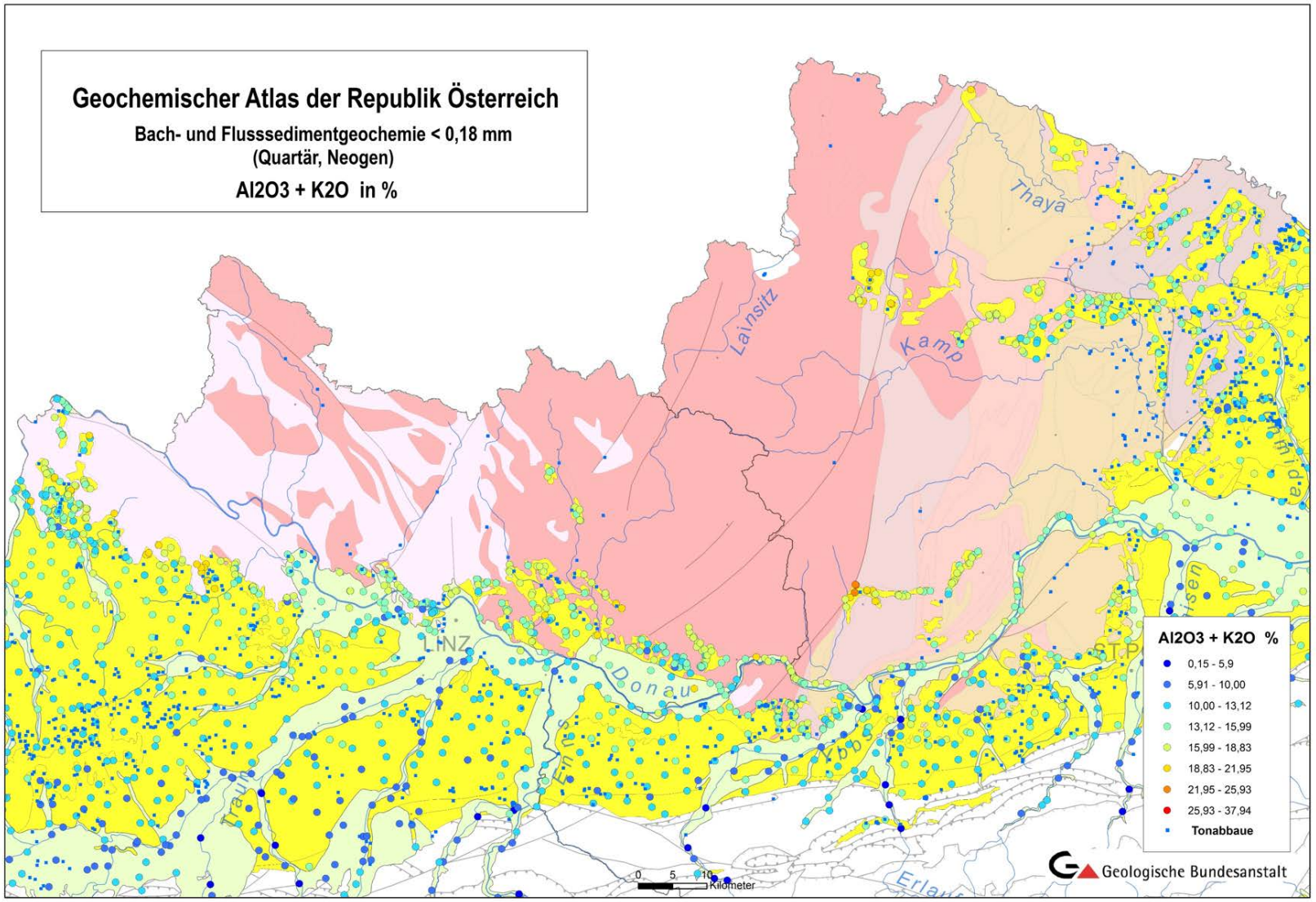


Abb. 8: Bach- und Flusssedimente im Umfeld der Böhmischen Masse; räumliche Verteilung der Konzentration von Al_2O_3+K_2O in der Kornfraktion <0,18 mm.

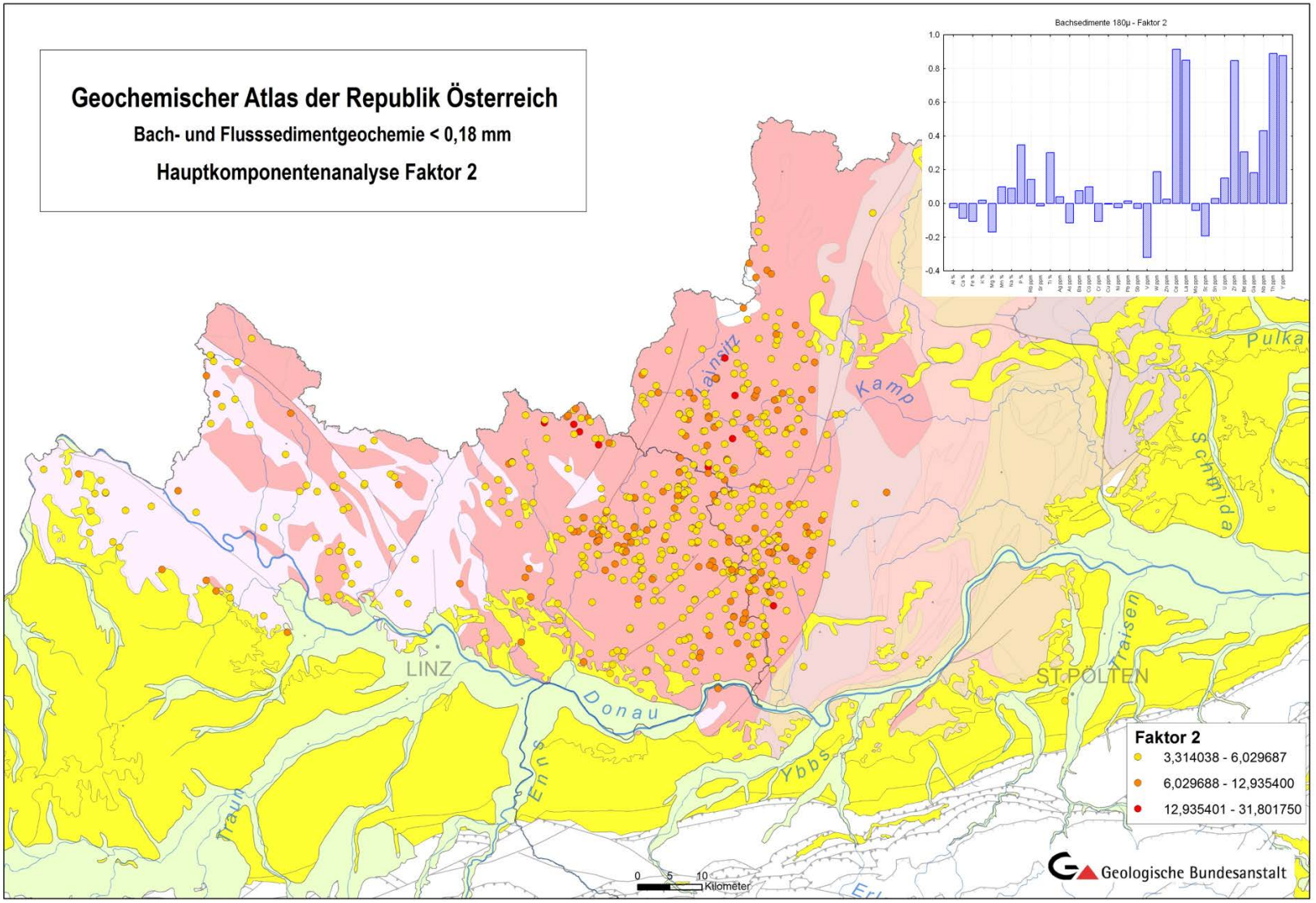


Abb. 9: Hauptkomponentenanalyse für den Faktor 2 (höchste drei Faktorenladungen); Gesamtdatensatz Bach- und Flusssedimentgeochemie (< 0,18 mm).

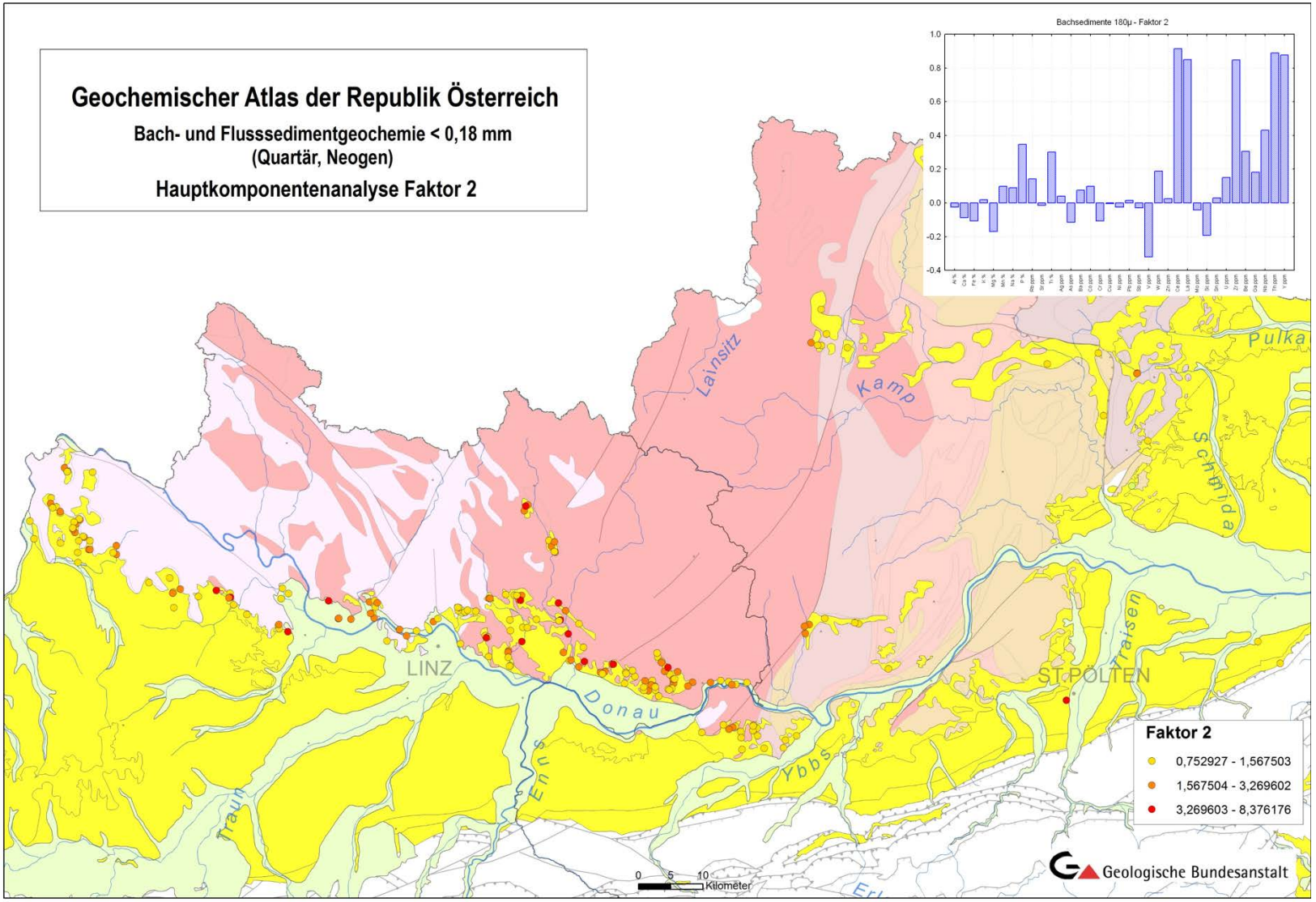


Abb. 10: Hauptkomponentenanalyse für den Faktor 2 (höchste drei Faktorenladungen); Bach- und Flusssedimentgeochemie (< 0,18 mm) Neogen/Quartäranteil.

Die jeweilige Elementkonzentration im Sediment ist hier nicht nur von der Lithologie des Einzugsgebiets abhängig, sondern auch von den Transport- und Sedimentationsbedingungen im jeweiligen Bach-/Fluss-Abschnitt. Minerale mit höherem spezifischem Gewicht (Schwerminerale) werden im Bachverlauf verstärkt direkt unterhalb von Hindernissen abgelagert und damit an bestimmten Stellen angereichert. Auf Grund ihrer durchschnittlichen Korngröße finden sich diese Schwerminerale auch häufig in der Feinstfraktion.

In der Gesamtübersicht der Hauptkomponentenanalyse (Faktor 2) der Kornfraktion < 0,18 mm fallen die verbreitet hohen SEE-Konzentrationen in der Böhmischen Masse und hier insbesondere im Verbreitungsgebiet des Weinsberger Granits auf (vgl. Abb. 9). Das hat vor allem drei Hauptgründe:

- Die Granite und die entsprechenden Migmatite besitzen einen hohen Anteil an Cer- und La-führenden Schwermineralen.
- Die ungestörte Verwitterung seit dem Tertiär hat in der Verwitterungsauflage zu einer Anreicherung der meist sehr verwitterungsresistenten Schwerminerale geführt.
- Die spezifische Sedimentzusammensetzung und die morphologiebedingten Transportvorgänge führen zu einer weiteren Anreicherung der sehr feinkörnigen Schwerminerale.

Der Weinsberger Granit tendiert beispielsweise zu tiefgreifender Vergrusung, damit verbunden zu Stoffumlagerungen und Mineralneubildungen. Bei vielen anderen Graniten dominieren tonreiche Verwitterungsformen. In den vergrusten Typen wird zudem die Schwermineralfraktion in der Kornfraktion <0,18 mm überproportional angereichert (‚Seifeneffekt'). Das kann durch alluviale Anreicherungen bzw. durch Auswaschen der feinkörnigen, spezifisch leichteren Fraktion verursacht werden. Die chemische Zusammensetzung der Bachsedimente im Einzugsbereich des Weinsberger Granits widerspiegelt also primär die Schwermineralfraktion und nicht die Lithogeochemie (PIRKL, 1991).

Die im Bereich der Böhmischen Masse bei SEE+Y+Sc festgestellen Verteilungsmuster pausen sich randlich in die neogenen und quartären Ablagerungsbereiche fort. Im multivariat verrechneten Gesamtdatensatz ist dies weniger markant ausgebildet, da die SEE-Gehalte hier deutlich geringer sind als im Bereich der Böhmischen Masse mit den zum Teil extrem hohen Gehalten an Ce, La und Y (vgl. Abb. 10). Dies wird aber erst im univariat und multivariat neuverrechnten, selektierten Datensatz ersichtlich, wobei die teilweise höheren SEE-Gehalte in der Fraktion <0,18 mm wesentlich deutlicher hervortreten als in der Feinfraktion <0,04 mm (Daten nur aus NÖ vorhanden). Diese Einflüsse der aktiven rezenten Sedimentfracht bleiben aber im Regelfall auf den unmittelbaren Nahbereich zur Böhmischen Masse beschränkt.

SEE-reiche Schwermineralphasen in Gesteinsserien des Südböhmischen Batholiths sind in regional variablen Mengenverhältnissen vor allem an die Schwerminerale Monazit, Xenotim, Apatit, Rutil, Illmenit und teilweise auch an Zirkon gebunden. Das zeigt sich auch an weiteren Indikatorelementen (Ti, P, Th, Zr) aus der geochemischen Basisaufnahme. Dieses Schwermineralspektrum dürfte höchstwahrscheinlich auch für die erhöhten SEE-Gehalte in der Fraktion <0,18 mm der unmittelbar an die Böhmische Masse angrenzenden Neogen- und Quartärgebiete verantwortlich sein.

Die Unterschiede zwischen den Elementverteilungen für Ce, La, Sc und Y innerhalb der Böhmischen Masse und den Neogen- und Quartärgebieten in Niederösterreich und Oberösterreich wird in den jeweiligen Box-Plots-Darstellungen deutlich ersichtlich (vgl. Abb. 11, 14 und 17).

Die Differenzierung der Trägerphasen in Form von Schwermineralen oder adsorptiver Bindung an Tonminerale ist anhand der Bachsediment-Analysendaten der Kornfraktion < 0,18 und <0,04 mm allein nicht möglich. Dazu fehlen Analysenergebnisse der schweren SEE sowie auch ergänzende Angaben über die

Schwermineralführung in den Feinsedimenten. Die Multivariatdaten aus dem Randbereich zum Kristallin lassen aber vermuten, dass in diesem Bereich die SEE-Bindung an Schwermineral-Trägerphasen gegenüber der adsorptiven Bindung an Tonminerale deutlich überwiegt. Die Gehalte an SEE+Y+Sc in der Feinfraktion <0,04 mm sind im zur Verfügung stehenden Datensatz für Niederösterreich signifikant geringer als in der Fraktion <0,18 mm (vgl. Abb. 12, 13, 15 und 16). Wie aber bereits erwähnt, sind Lanthan und Cer alleine nicht indikativ für Ionen-adsorptive SEE-Lagerstätten. Beide Elemente sind in diesem Lagerstättentypus eher abgereichert. Yttrium ist hingegen in diesen meist schon deutlich angereichert. Auf Basis des Gesamtdatensatzes aus der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie dürfte somit Yttrium noch am ehesten indikativ für Ionen-adsorptive Bindung von SEE sein. Ohne Analysen der indikativen schweren SEE wird aber eine fundierte Aussage über diesen sekundären Lagerstättentyp nicht möglich sein.

Cer, Lanthan, Yttrium, Scandium

Die Extrem-Gehalte bei Cer und Lanthan in den Bachsedimenten der Böhmischen Masse werden auch in den kleinen neogenen bzw. quartären Randbereichen der Kristallingebiete nicht mehr erreicht. Im schmalen Grenzbereich zum Kristallin liegen die Median-Werte für Cer (180 ppm) und Lanthan (98 ppm) noch relativ hoch (vgl. Abb. 12, 13,15, 16). Im Großteil der anschließenden Neogen-/Quartärgebiete fallen die Medianwerte für Cer (68 ppm) und Lanthan (36 ppm) deutlich zurück und unterscheiden sich nicht mehr von den durchschnittlichen Gehalten in vergleichenbaren Peliten und Psammiten im benachbarten Bayern (LINHARDT & ZARBOK, 2005). Die beiden Kornfraktionen <0,18 und <0,04 mm weisen bei den SEE-Gehalten zudem kaum Unterschiede auf. Extremwerte für Cer (>840 ppm) und Lanthan (> 500 ppm) werden in den aktuellen Bachsedimenten lediglich im unmittelbarer Nähe zu den Kristallingebieten der Böhmischen Masse erreicht.

Yttrium ist wie Cer und Lanthan an akzessorische Minerale gebunden und zeigt daher innerhalb bestimmter Grobkorngranite extreme Anreicherungen (Maximalwert 2055 ppm), wobei der Medianwert für die gesamte Böhmische Masse bei lediglich 77 ppm liegt (vgl. Abb. 18,19). In den unmittelbar an das Kristallin angrenzenden neogenen Ablagerungsräumen sind ebenfalls noch sehr hohe Extremwerte (755 ppm) zu beobachten (Median 65 ppm). In den kristallinferneren Bereichen liegt der Median bei 34 ppm (75 %-Perzentile 51 ppm). Dem gegenüber sind die Yttrium-Gehalte in der Feinfraktion >0,04 mm mit einem Medianwert von 40 ppm leicht erhöht. Insgesamt liegen aber auch diese niedrigeren Yttrium-Gehalte in der Variationsbreite der mitlleren Gehalte in vergleichbaren Serien in Bayern (LINHARDT & ZARBOK, 2005).

Die Scandium-Gehalte in den Bachsedimenten innerhalb der Böhmischen Masse sind mit einem Median-Wert von 8 ppm relativ niedrig einzustufen, was in etwa auch den Median-Gehalten in den angrenzenden sedimentären Ablagerungsräumen entspricht. Signifikante Anreicherungen sind auf Basis der vorliegenden Elementverteilungen nicht zu erwarten.

Aus den bisher bekannten SEE-Verteilungsmustern in den aktiven Bachsedimenten des Vorlandbereichs der Böhmischen Masse ist zu erwarten, dass durch die anhaltenden Verwitterungs- und Abtragungsprozesse im Kristallin der Böhmischen Masse ein durchgehender Eintrag von SEE-Trägermineralen in die Paläo-Sedimentationsräume des Neogens/Quartärs stattgefunden hat. Aus den rezenten Beobachtungen lässt sich aber auch vermuten, dass lediglich die kristallinnahen Randbereiche von Anreicherungsprozessen hinsichtlich SEE-Trägermineralen betroffen waren.

Im Hinblick auf die Möglichkeit der Ionen-adsorptiven Bindung von SEE an Tonminerale dürften im Wesentlichen nur diese kleinen neogenen Randbeckenlagen bzw. neogene Kleinbecken innerhalb des Kristallins eine theoretische Relevanz haben. Aus den Verteilungsmustern der univariaten und multivariaten

Verrechnung ist aber ersichtlich, dass in diesen aktuellen Sedimentationsräumen vor allem Schwerminerale als dominante SEE-Trägerphasen auftreten, die als Granit-Detritus weit in das sedimentäre Vorland transportiert wurden und dort auch noch in den Tonvorkommen als Akzessorien zu beobachten sind. Inwieweit SEE-Anreicherungen in den innerkristallinen Neogenbecken verstärkt an die Feinfraktion <0,04 mm gebunden sein könnten, lässt sich beim gegenwärtigen Kenntnisstand nicht sagen, da diese Bereiche im Rahmen der ergänzenden geochemischen Beprobung Niederösterreichs 1991-1992 nicht beprobt wurden und auch die Analytik schwerer SEE nicht zur Verfügung steht.

Eindeutige SEE-Anreicherungsprozesse im Sinne einer Ionen-Adsorption an Tonminerale, die auf eine chemische Verwitterung von Graniten im Zuge subtropischer Klimaeinflüsse zurückzuführen wären, lassen sich mittels der vorhandenen Bachsedimentgeochemie erwartungsgemäß nicht nachweisen. Die Bachsedimentgeochemie kann aber auf Basis der Beobachtungen in den rezenten Verwitterungsbereichen grundsätzliche Mechanismen, Stoffangebote und Stoffflüsse beschreiben.

Indikationen für wirtschaftlich interessante Anreicherunge von SEE sind aus der Primärauswertung der selektierten Bachsedimentgeochemie-Datensätze aber nicht wirklich erkennbar. Das Potenzial für SEE-Anreicherungen bleibt auf die kristallinnahen Bereiche und die kleinen, tektonisch abgeschnittenenen Neogenbecken innerhalb des Kristallins beschänkt.

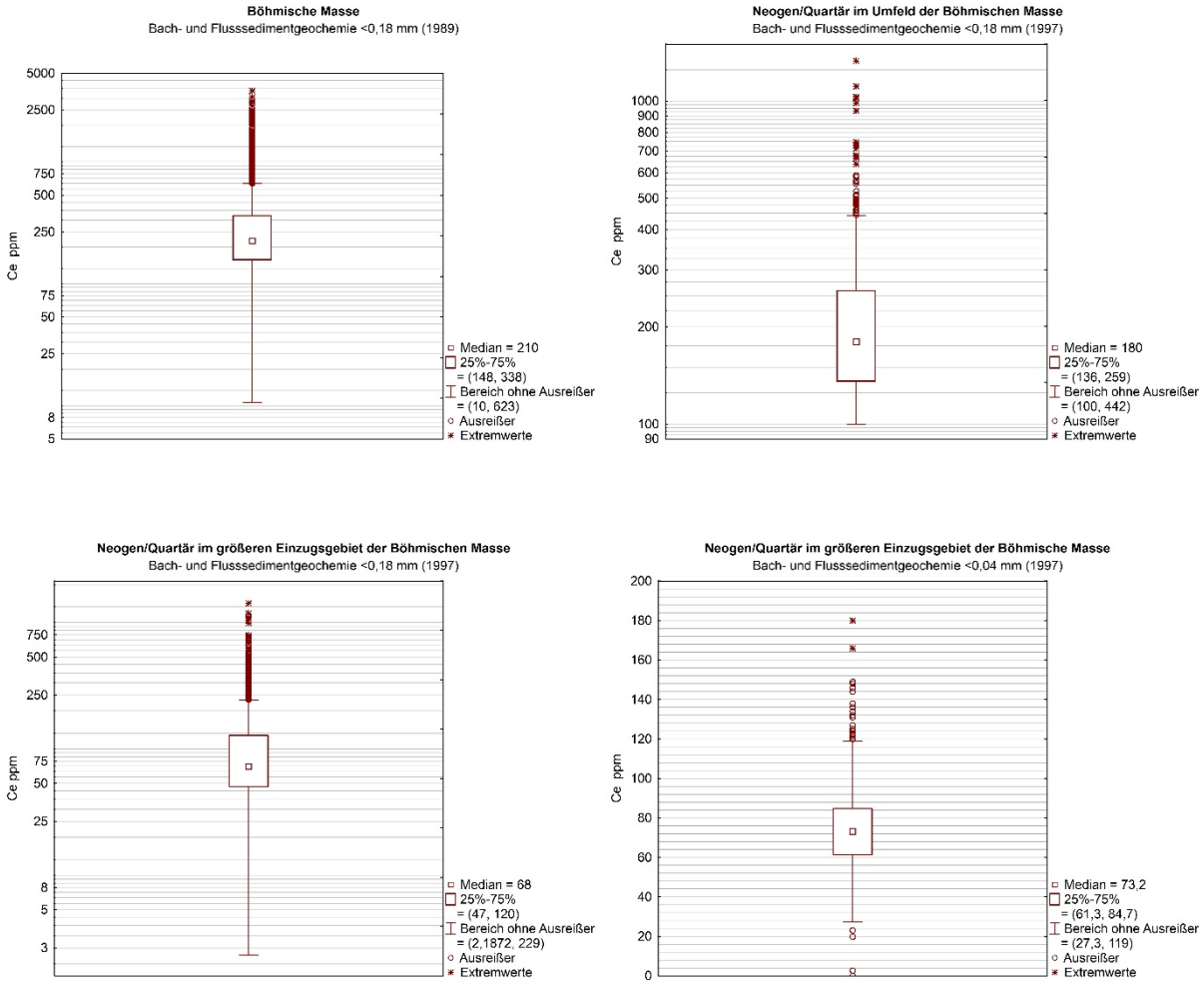


Abb. 11 : Box-Plots-Darstellungen für Cer in Bachsedimenten der Fraktion <0,18 mm (a Böhmische Masse, b unmittelbares Umfeld der Böhmischen Masse, c größeres Einzugsgebiet der Böhmischen Masse) sowie der Fraktion <0,04 mm (d größeres Einzugsgebiet der Böhmischen Masse, NÖ).

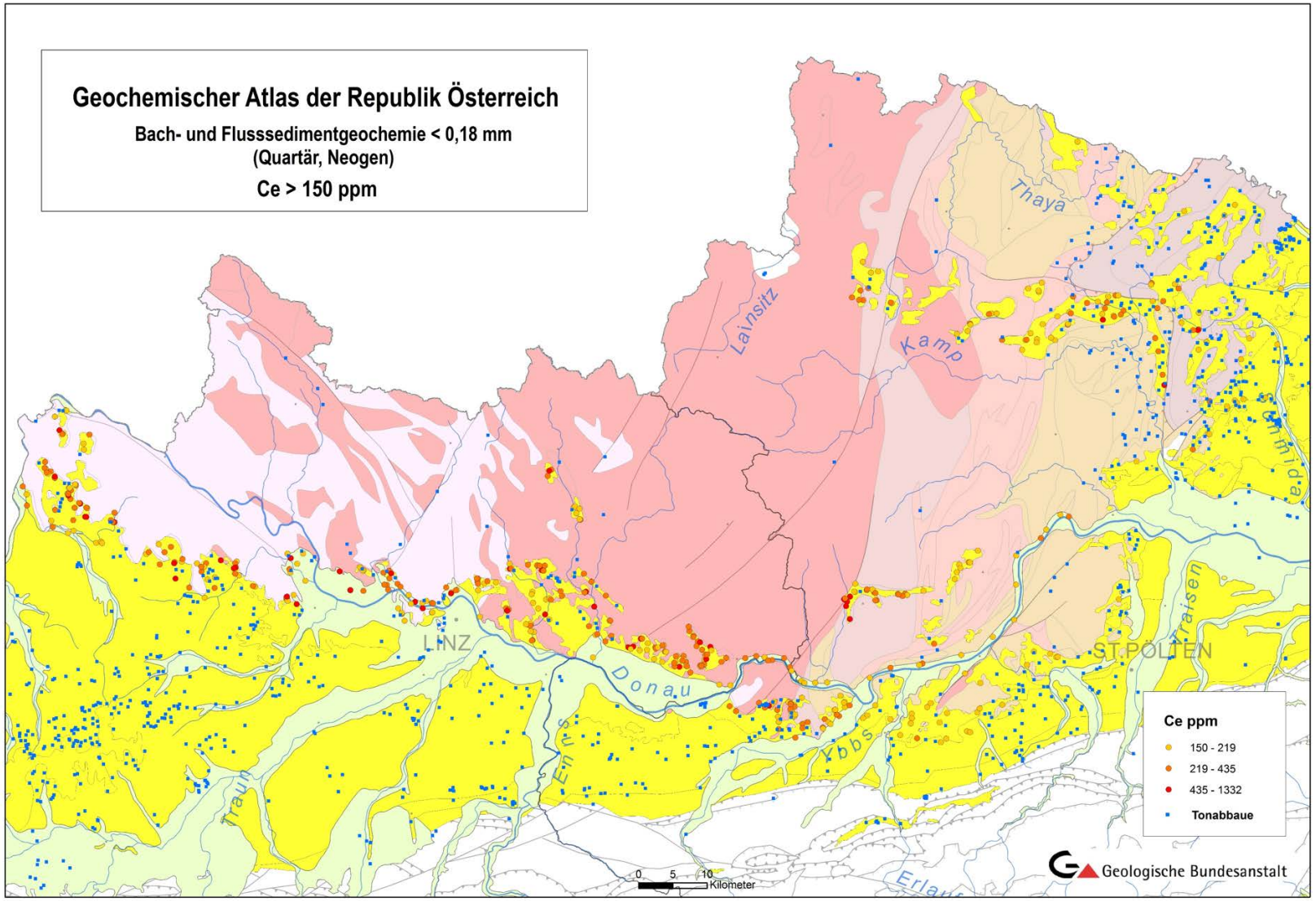


Abb. 12: Elementverteilung für Cer (> 150 ppm) in Bachsedimenten (< 0,18 mm) im Einzugsgebiet der Böhmischen Masse (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

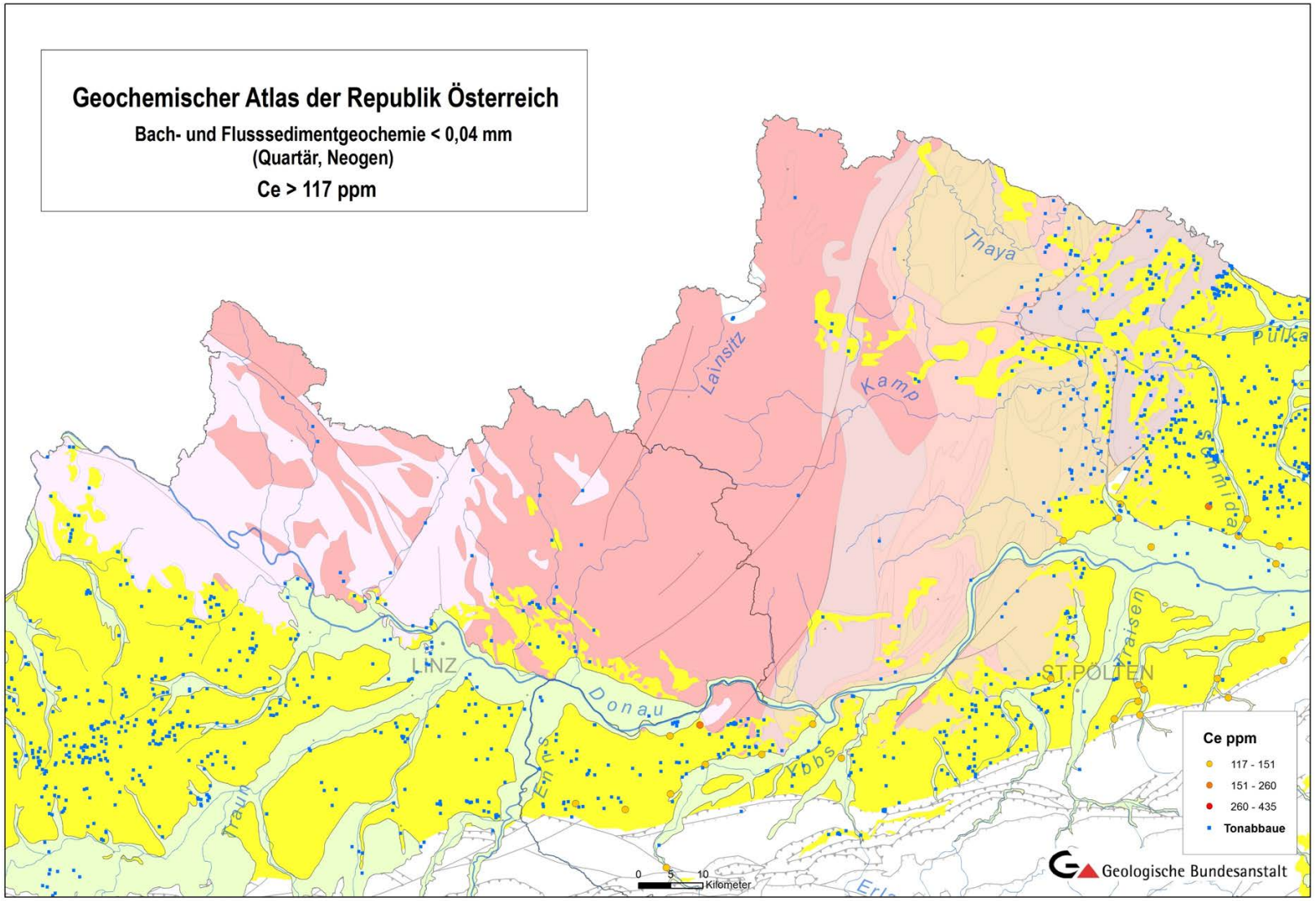


Abb. 13: Elementverteilung für Cer (> 117 ppm) in Bachsedimenten (< 0,04 mm) im Einzugsgebiet der Böhmischen Masse (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

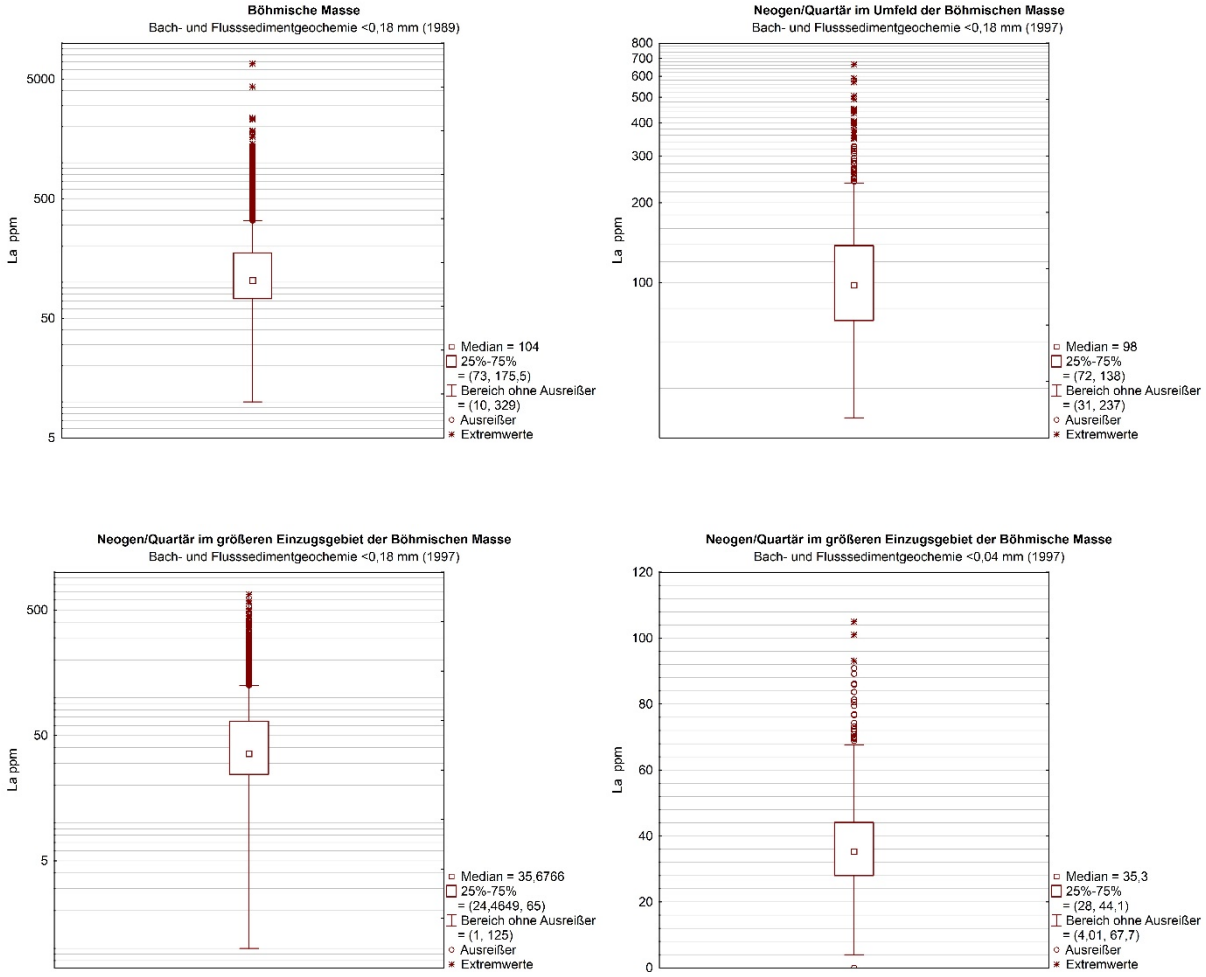


Abb. 14 : Box-Plots-Darstellungen für Lanthan in Bachsedimenten der Fraktion <0,18 mm (a Böhmische Masse, b unmittelbares Umfeld der Böhmischen Masse, c größeres Einzugsgebiet der Böhmischen Masse) sowie der Fraktion <0,04 mm (d größeres Einzugsgebiet der Böhmischen Masse, NÖ).

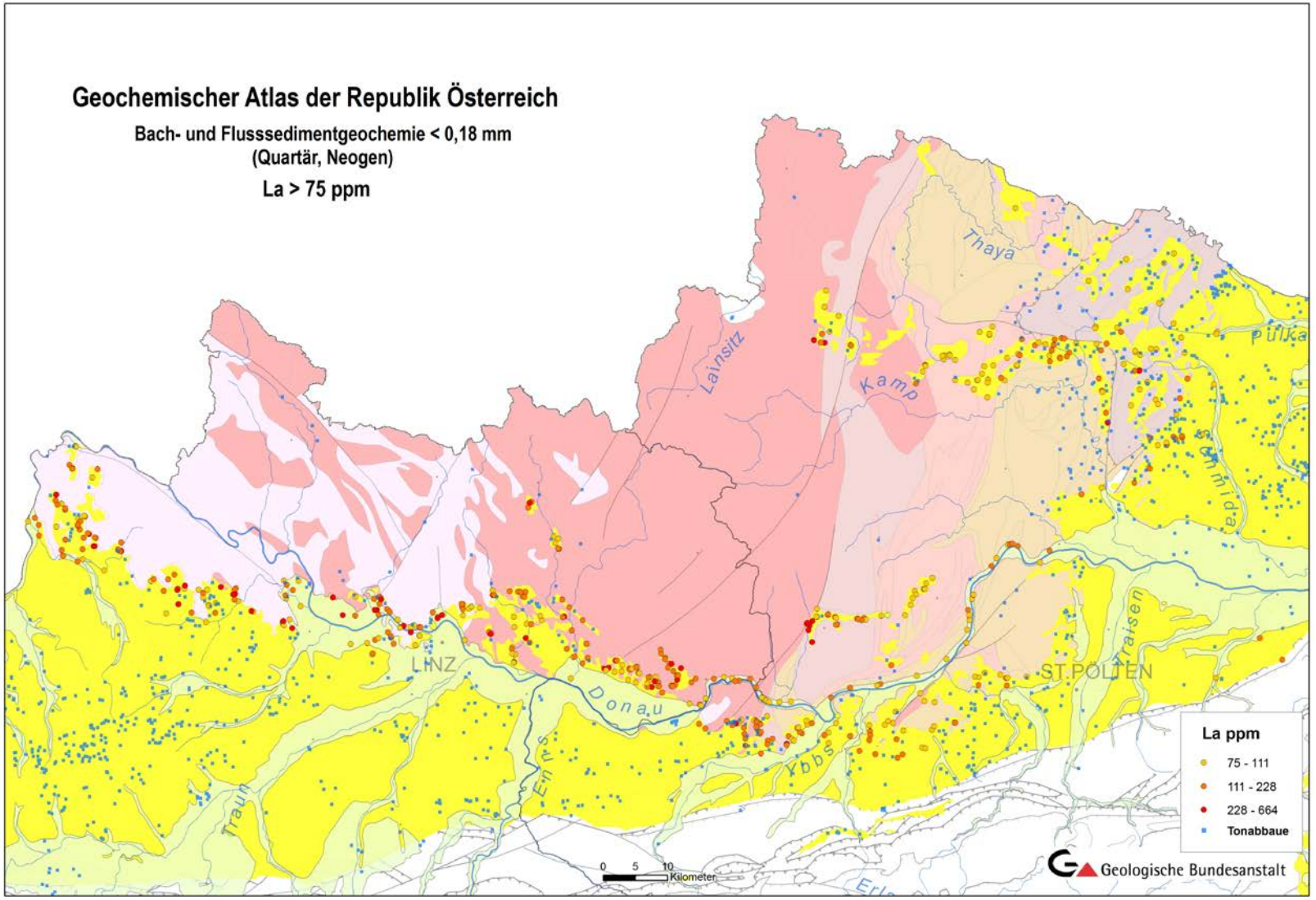


Abb. 15: Elementverteilung für Lanthan (> 75 ppm) in Bachsedimenten (< 0,18 mm) im Einzugsgebiet der Böhmischen Masse (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

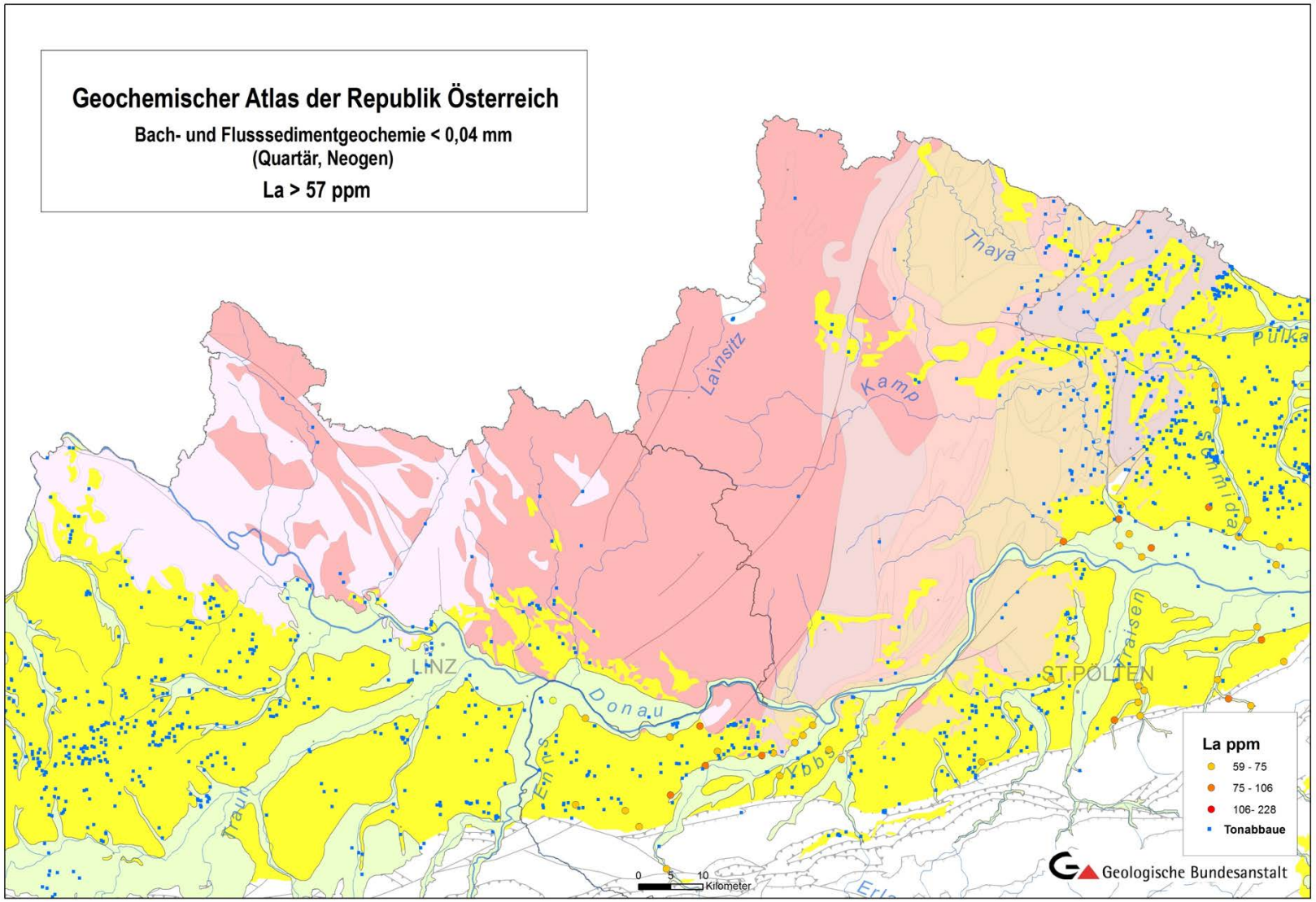


Abb. 16: Elementverteilung für Lanthan (> 57 ppm) in Bachsedimenten (< 0,04 mm) im Einzugsgebiet der Böhmischen Masse (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

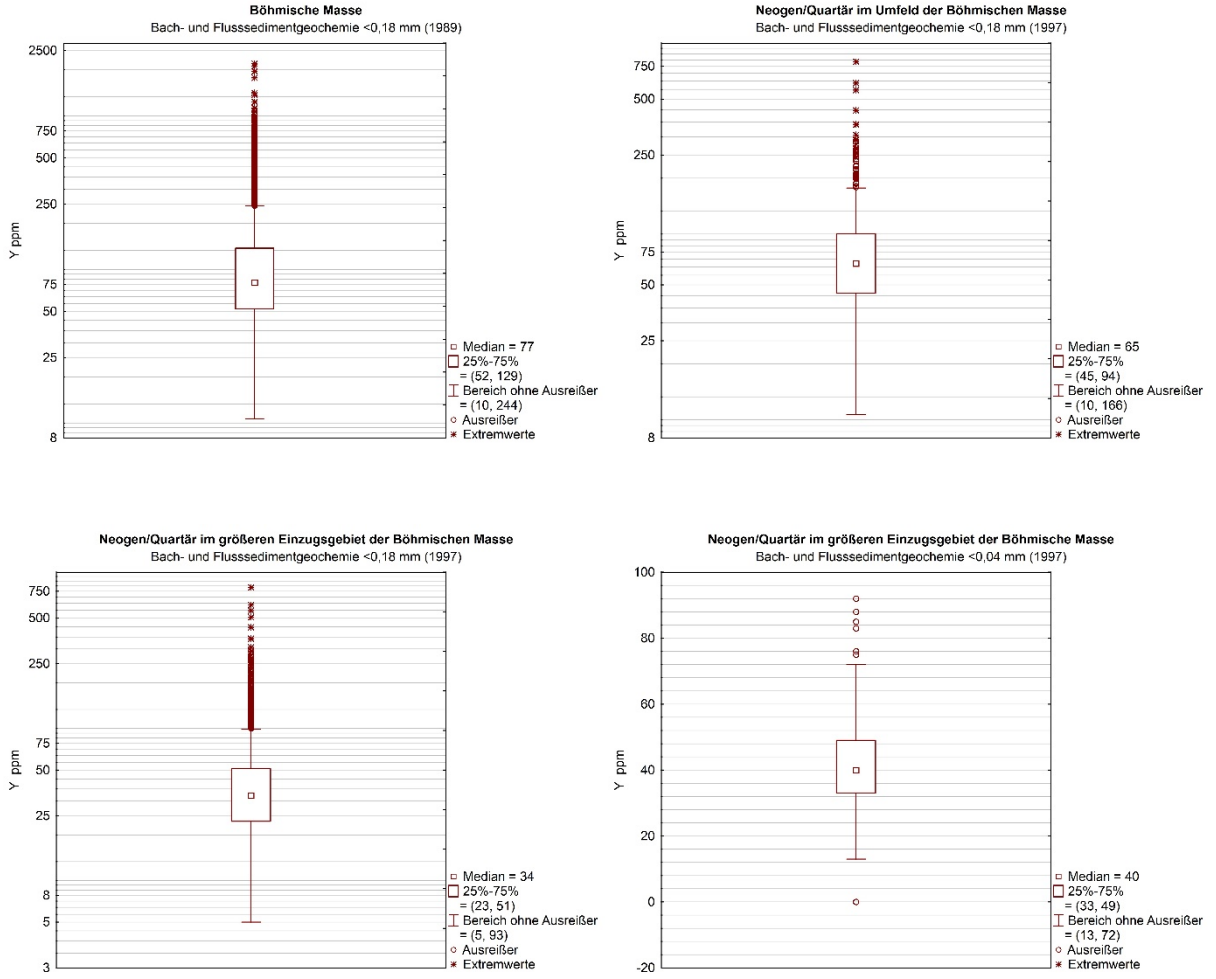


Abb. 17: Box-Plots-Darstellungen für Yttrium in Bachsedimenten der Fraktion <0,18 mm (a Böhmische Masse, b unmittelbares Umfeld der Böhmischen Masse, c größeres Einzugsgebiet der Böhmischen Masse) sowie der Fraktion <0,04 mm (d größeres Einzugsgebiet der Böhmischen Masse, NÖ).

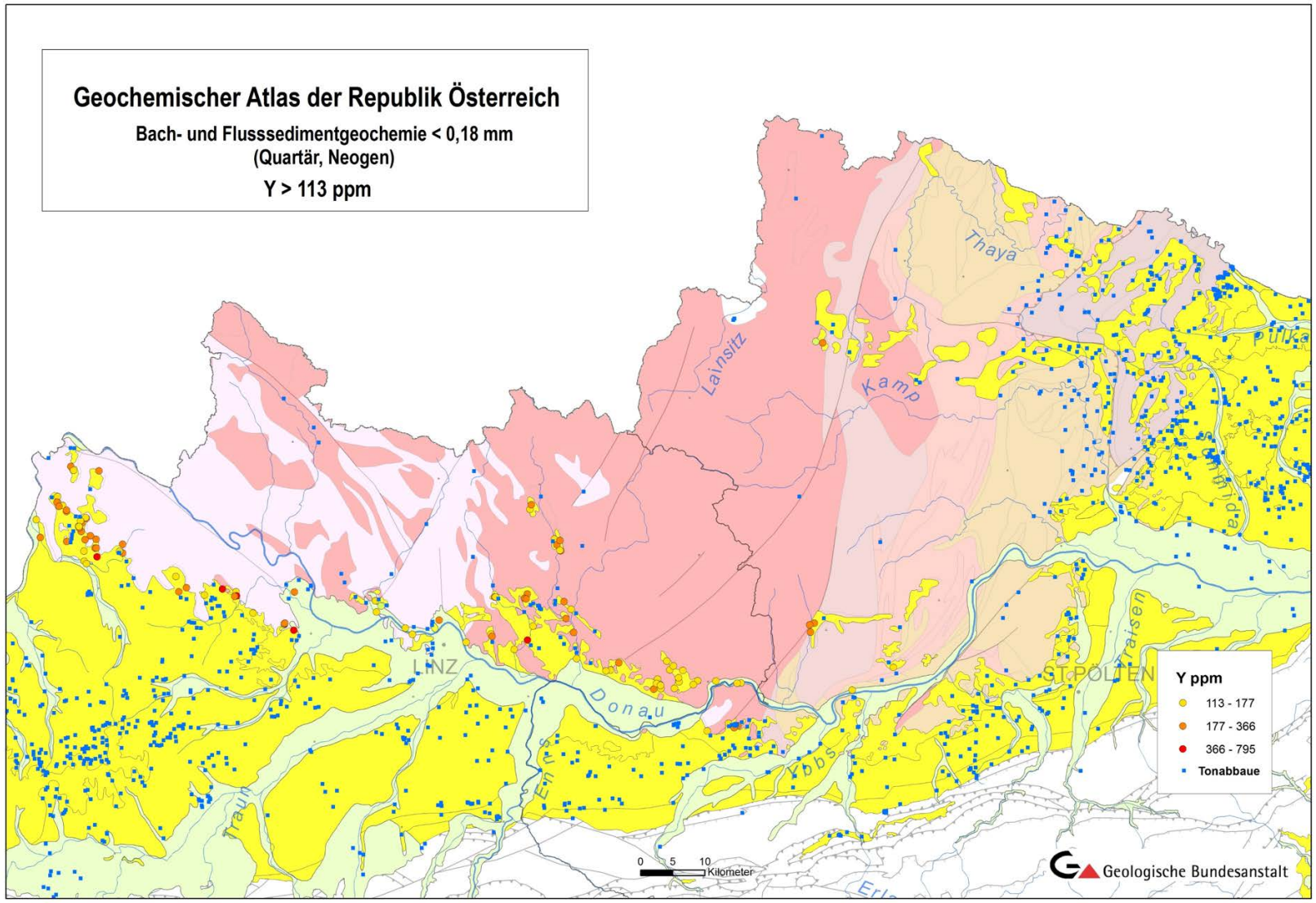


Abb. 18: Elementverteilung für Yttrium (> 113 ppm) in Bachsedimenten (< 0,18 mm) im Einzugsgebiet der Böhmischen Masse (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

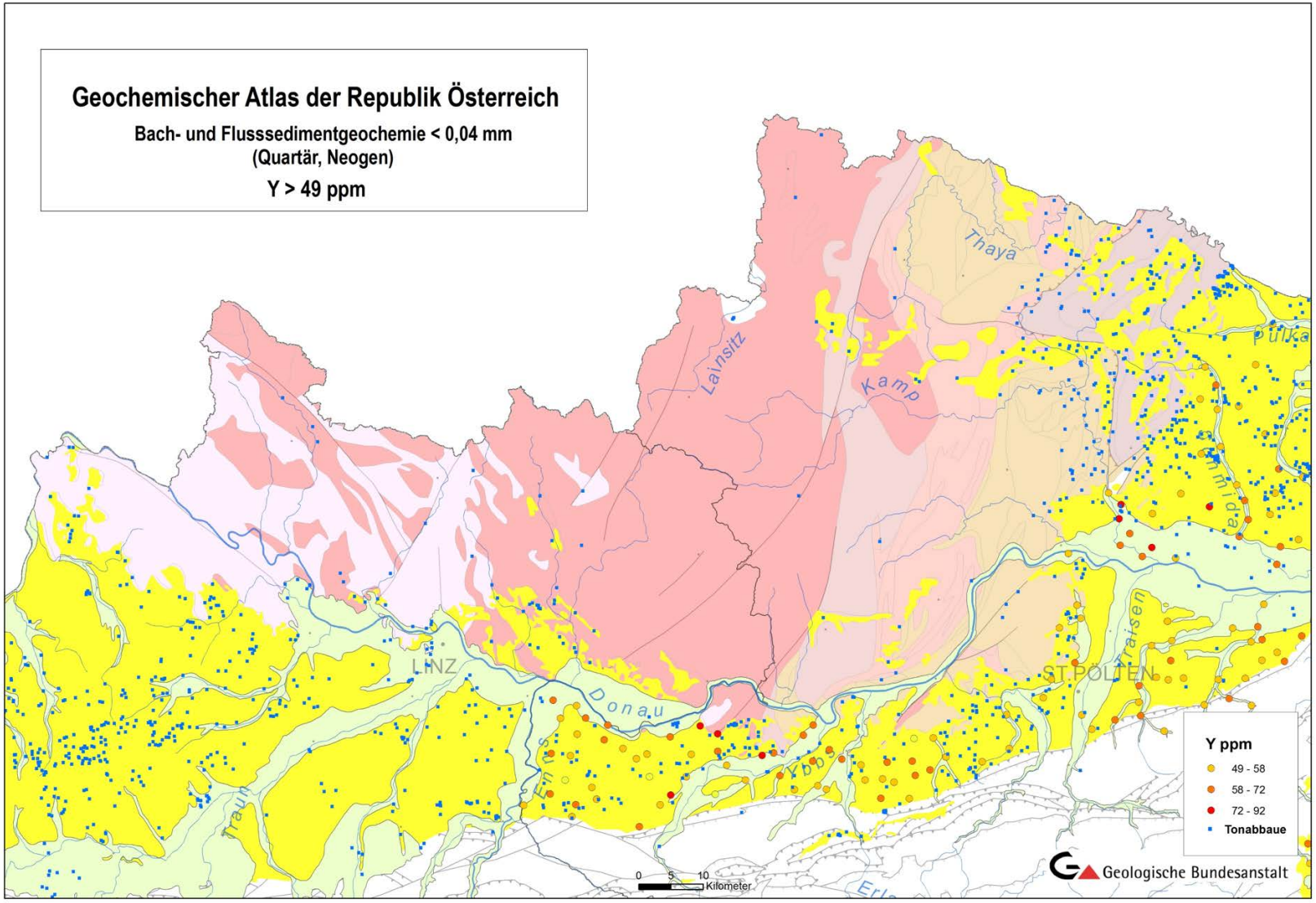


Abb. 19: Elementverteilung für Yttrium (> 49 ppm) in Bachsedimenten (< 0,04 mm) im Einzugsgebiet der Böhmischen Masse (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

4.2.2 Neogen/Quartärgebiete im Einzugsbereich des Steirischen Beckens

Der Bereich des Steirischen Beckens wurde in der grundsätzlichen Betrachtung der Rahmenbedingungen für adsorptive Bindung von kritischen Rohstoffelementen an Tonen mitberücksichtigt, obwohl hier ein erwartbares SEE-Potenzial aufgrund der fehlenden geologischen und mineralogischen Voraussetzungen von vornherein auszuschließen war.

Als Indikator für Sedimentmatrix in den Bächen und Flüssen wurde auch hier der Summenparameter $Al_2O_3 + K_2O$ herangezogen. Bezogen auf die Fraktion <0,18 mm-Fraktion sind die Al_2O_3- und K_2O-Gehalte in der Fraktion <0,04 mm fast durchwegs etwas höher. Höhere Konzentrationen von $Al_2O_3+K_2O$ als Indikator für die Tonmineral-/Schichtsilikat-Gehalte treten im Bereich des neogenen Steirischen Beckens verbreitet auf und hier vor allem verstärkt im südwestlichen Teil des Beckens (siehe Abb. 20). Die flächige Verteilung dieser hohen Gehalte an Al_2O_3- und K_2O unterscheidet das Steirische Becken markant von den Verteilungsmustern in der nieder- bzw. oberösterreichischen Molassezone.

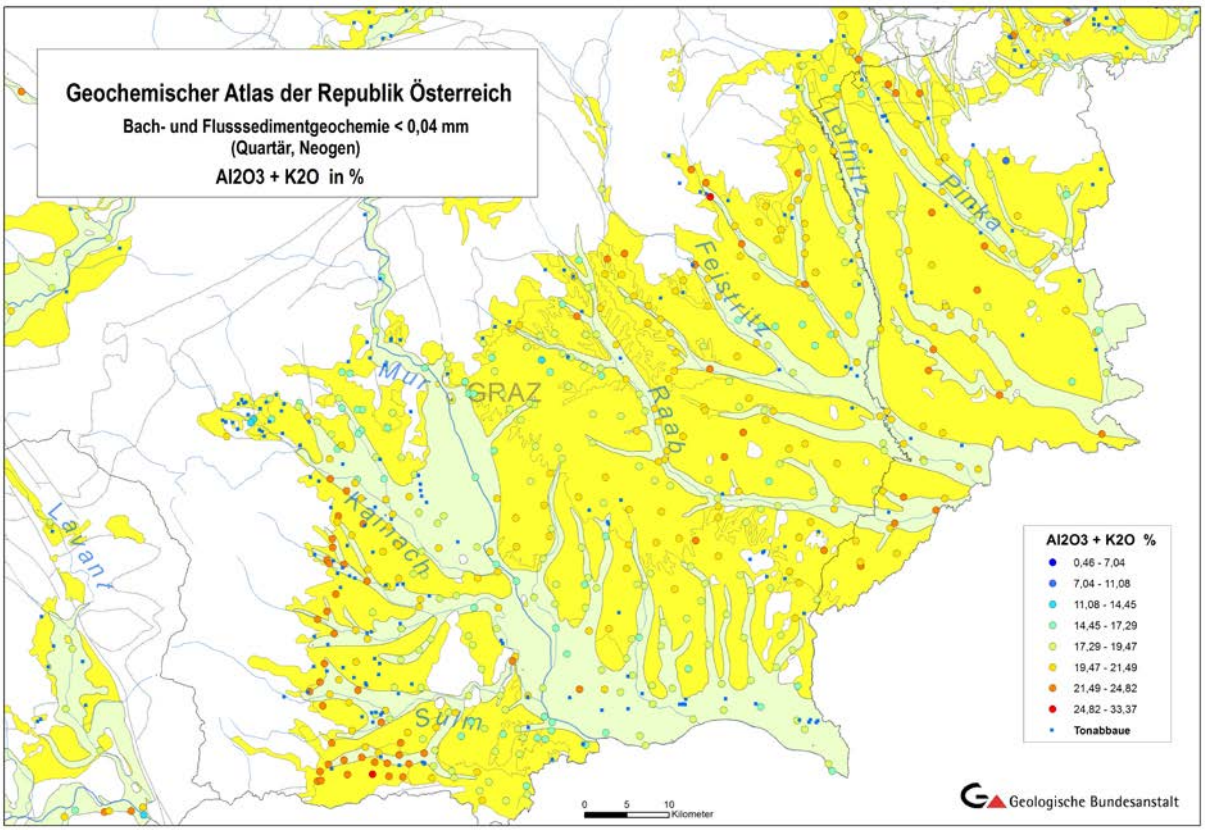


Abb. 20: Bach- und Flusssedimente Steiermark; räumliche Verteilung der Konzentration von $Al_2O_3+K_2O$ der Kornfraktion <0,18 mm.

Am Beispiel der Elemente Vanadium und Lithium sollen hier ansatzweise Indikatoren für eine Ionen-adsorptive Bindung dieser Elemente an Tonminerale diskutiert werden, die hier aus der Bach- und Flusssedimentgeochemie sehr gut ableitbar sind.

Vanadium ist ein Rohstoff von einer sehr hohen wirtschaftlichen Bedeutung. Im Versorgungsrisiko liegt Vanadium aber noch knapp unterhalb des Feldes für ‚Kritische Rohstoffe' und wird daher noch nicht als kritisches Rohstoffelement geführt. Vanadium ist als Spurenelement vor allem in Amphibolen, Pyroxenen und Glimmern innerhalb basischer und intermediärer magmatischer Gesteinserien vertreten, die minera-

logisch-geochemisch vorwiegend für die regionale und kleinregionale Verteilung der Vanadium-Grundgehalte in Österreich verantwortlich sind. Die Gehalte in den Kristallinbereichen der Zentralzone (Median 112 ppm) sind dabei deutlich gegenüber der Böhmischen Masse (Median 50 ppm) erhöht.

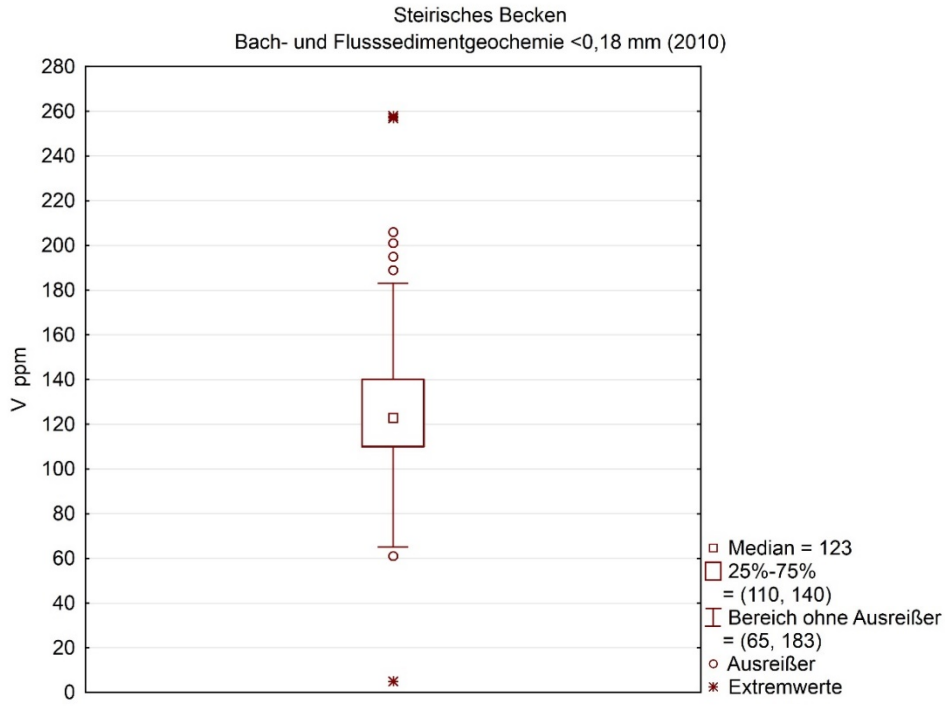
Die Vanadium-Verteilung im Bereich des Steirischen Beckens zeigt in der Fraktion <0,18 mm (Median 123 ppm) bereits sehr schön diese Abhängigkeiten zu ihren ehemaligen Liefergebieten (vgl. Abb. 22). Vanadium-Gehalte > 136 ppm sind hier auf die engeren Einzugsbereiche der benachbarte Kristallingebiete beschränkt. Signifikant anders sieht die Elementverteilung für Vanadium in der Feinfraktion <0,04 mm aus (vgl. Abb. 23). Vanadium-Gehalte größer 136 ppm sind fast flächendeckend über das gesamte Steirische Becken verteilt zu beobachten. Der Medianwert in der Feinfraktion liegt bei 148 ppm mit Extremgehalten bis zu 223 ppm (vgl. Abb. 21).

Die auftretenden V-Gehalte in den Bachsedimenten korrespondieren sehr gut mit den veröffentlichten Durchschnittsgehalten von Tongesteinen von 130 ppm (Maximalgehalte bis 3600 ppm) (PIRKL et al., 2015; LINHARDT & ZARBOK, 2005). Bindungsmäßig ist der überwiegende Teil des Vanadiums adsorptiv an Tonminerale gebunden. Die Elementverteilung der Feinfraktion <0,04 mm und die errechneten Anteile an Tonmineralen und Schichtsilikaten widerspiegeln das bereits sehr gut. Die Daten aus der Bachsedimentgeochemie sind hier also durchaus indikativ für adsorptive Elementanreicherungen.

Das Thema der Adsorptivbindung von Vanadium an Tonminerale wurde in den letzten Jahren international durch die diversen nationalen Festlegungen für eine Recycling-Baustoffverordnung wieder virulent. Die in den nationalen Recycling-Bauordnungen (Österreich: 2015) neu eingeführten Prüfparameter enthielten bei einigen Prüfverfahren auch den Parameter Vanadium. Gerade bei der wässrigen Elution zur Prüfung der Umweltverträglichkeit von Ziegelbruch wurden in Deutschland und Österreich regionale Grenzwertüberschreitungen bei Vanadium festgestellt, die unter anderem in Österreich 2016 zu einer Novellierung der Recycling-Baustoffverordnung führten, bei der der Prüfparameter Vanadium aus dem Untersuchungsprogramm genommen wurde. In den vorangegangen Diskussionsprozessen in Deutschland, teilweise auch in Österreich wurde darauf hingewiesen, dass Ton aufgrund des regional unterschiedlichen geogenen Vanadium-Angebots teilweise sehr hohe Vanadium-Gehalte adsorptiv zu binden vermag. Konform zu den Ergebnissen der Bach- und Flusssedimentgeochemie < 0,04 mm waren in Österreich von den Überschreitungen von Eluatgrenzwerten vor allem Ziegelprodukte betroffen, deren Rohstoffe aus dem Bereich des Steirischen Beckens stammten.

Neben Vanadium zeigt auch die Verteilung von Lithium in den Bachsedimenten des Steirischen Beckens eine auffallende Bindung an Feinsedimente <0,04 mm und hier wahrscheinlich verstärkt an die Tonfraktion (Abb. 24, 25, 26). Die Adsorption von Lithium an Tonminerale/Glimmer oder in Form einer isomorphen Substitution im Kristallgitter ist in der geochemischen Prospektion von Lithium bereits sehr umfassend rezipiert worden (STARKEY, 1982; AMMAN, 2003). Bei der Verwitterung von Lithium-führenden Gesteinen/Mineralphasen wird es als lösliches Li^{1+} freigesetzt und vor allem an Tonmineralen adsorbiert. Das Element Lithium substituiert aber auch die Elemente Kalium, Natrium und Magnesium im Gitter von Feldspäten, Glimmern und Amphibolen. Die räumliche Verteilung dieses Elements in den Bach- und Flusssedimenten korreliert daher zum Teil auch mit dem Vorkommen dieser gesteinsbildenden Minerale.

Im Steirischen Becken ist Lithium in der Fraktion <0,04 mm angereichert (Median 43 ppm), wobei die höchsten Lithium-Gehalte (75-92 ppm) am Ostabhang der Koralpe auftreten (Abb. 26). In diesem Bereich ist auch ein höherer Tonanteil der Sedimentmatrix indiziert (vgl. Abb. 20). Das Auftreten von Lithium-führenden Pegmatiten dürfte hier auch Mitursache für die erhöhten Werte sein. Die Gehalte in der Kornfrakton <0,18 mm sind hingegen durchwegs geringer (Median 30 ppm) (vgl. Abb. 24, 25). Die festgestellten Lithium-Gehalte haben aber keine wirtschaftliche Relevanz. Die Bandbreite der im Steirischen Becken gemesssenen Lithium-Gehalte liegt immer noch nahe der publizierten Lithium-Durchschnittsgehalte in Tongesteinen von 66 ppm (PIRKL et al., 2015).



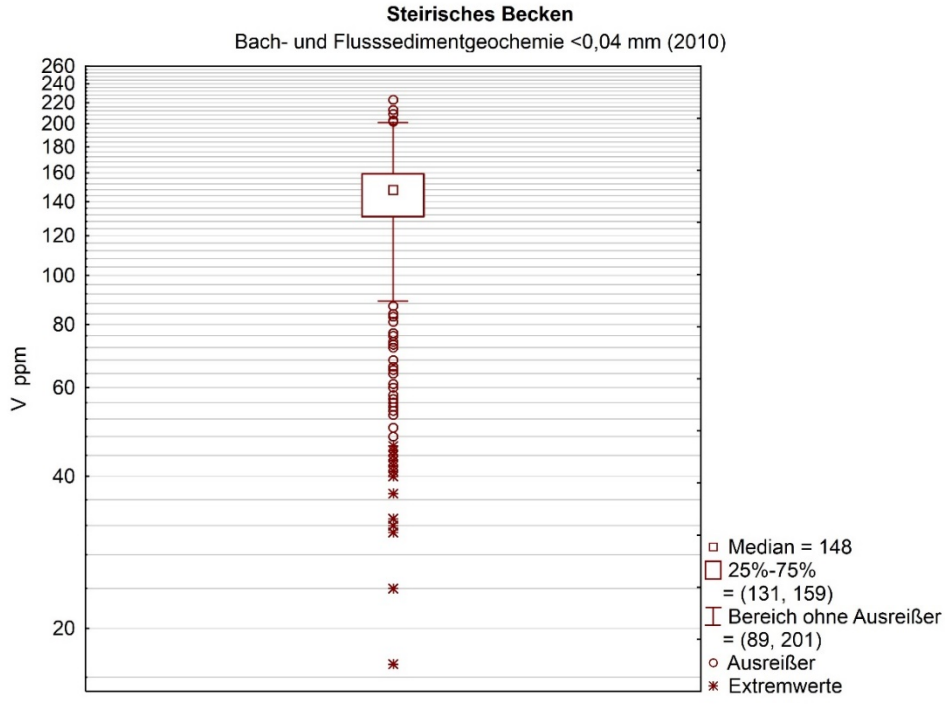


Abb. 21: Box-Plots-Darstellungen für Vanadium in Bachsedimenten der Fraktion <0,18 mm und der Fraktion < 0,04 mm im Bereich des Neogens/Quartärs des Steirischen Beckens.

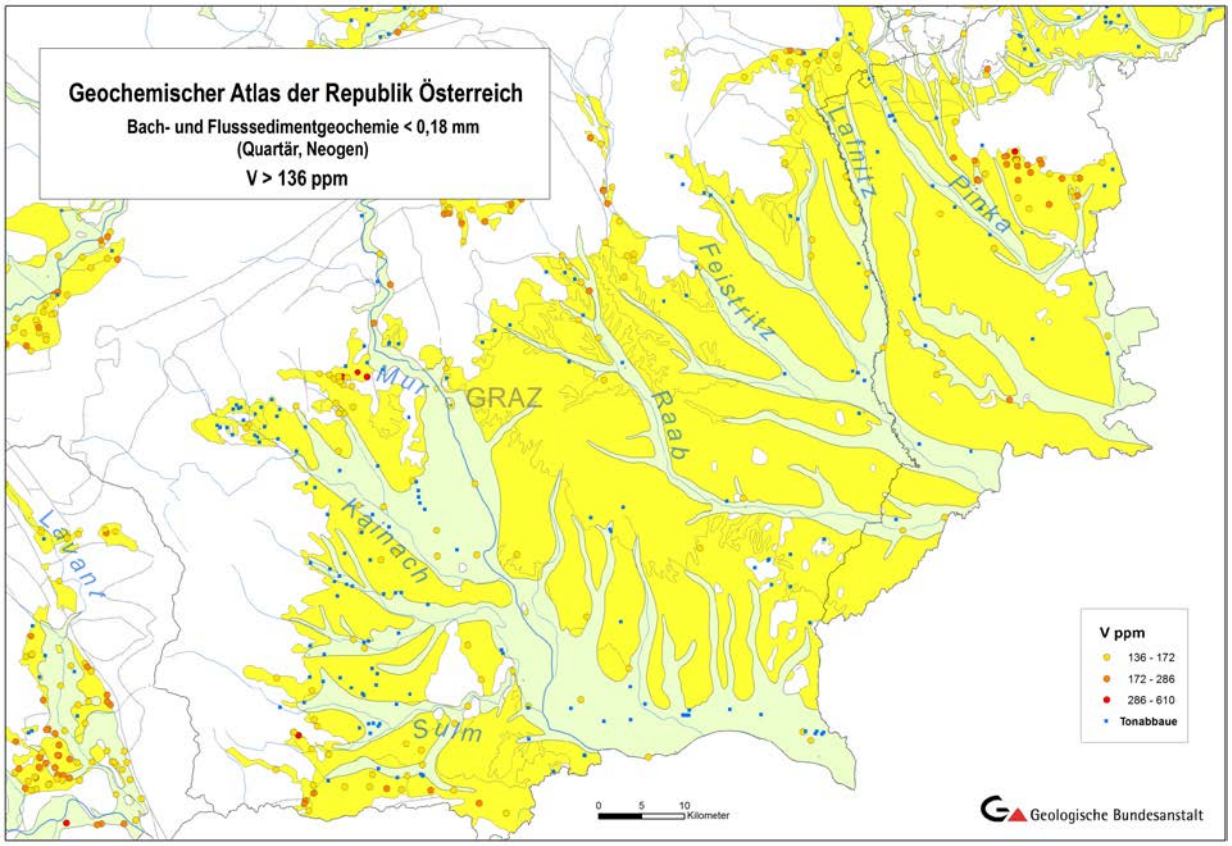


Abb. 22: Elementverteilung für Vanadium (> 136 ppm) in Bachsedimenten (< 0,18 mm) im Einzugsgebiet des Steirischen Beckens (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

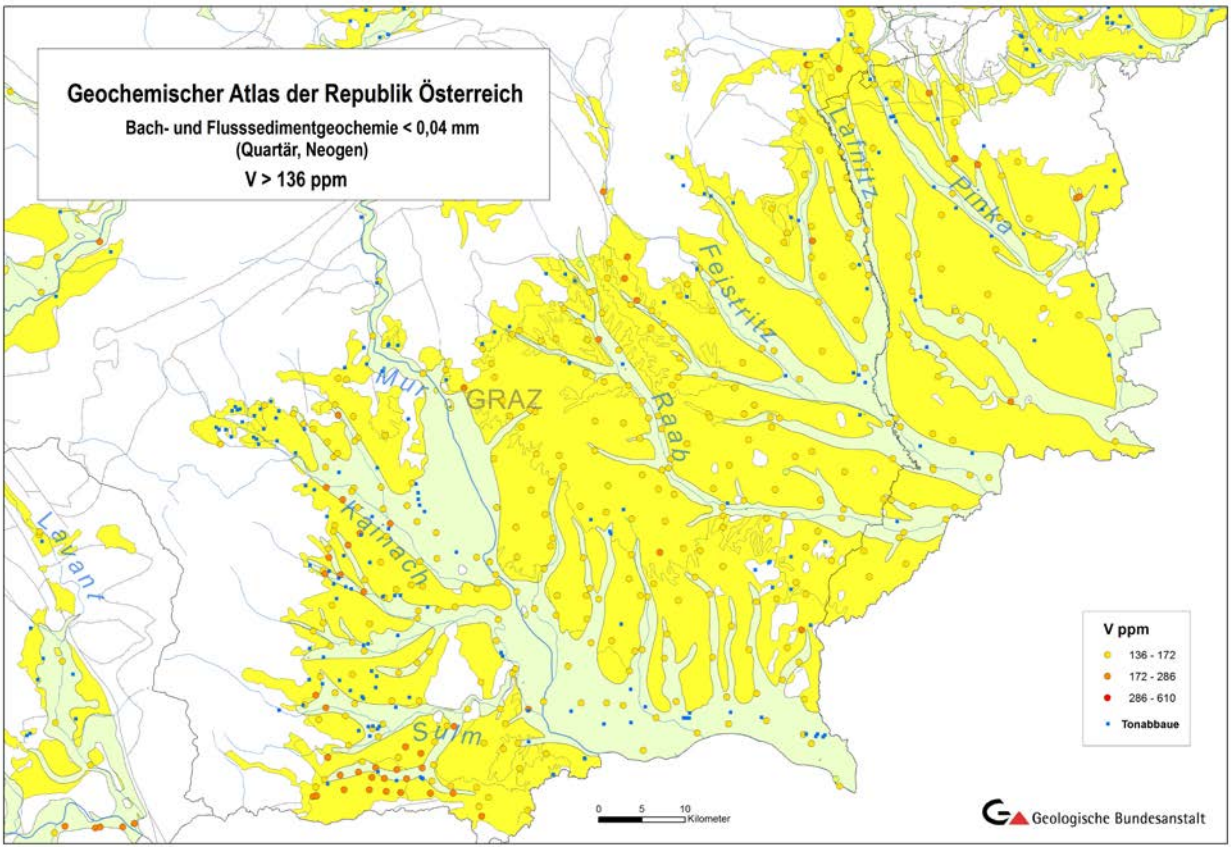


Abb. 23: Elementverteilung für Vanadium (> 136 ppm) in Bachsedimenten (< 0,04 mm) im Einzugsgebiet des Steirischen Beckens (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

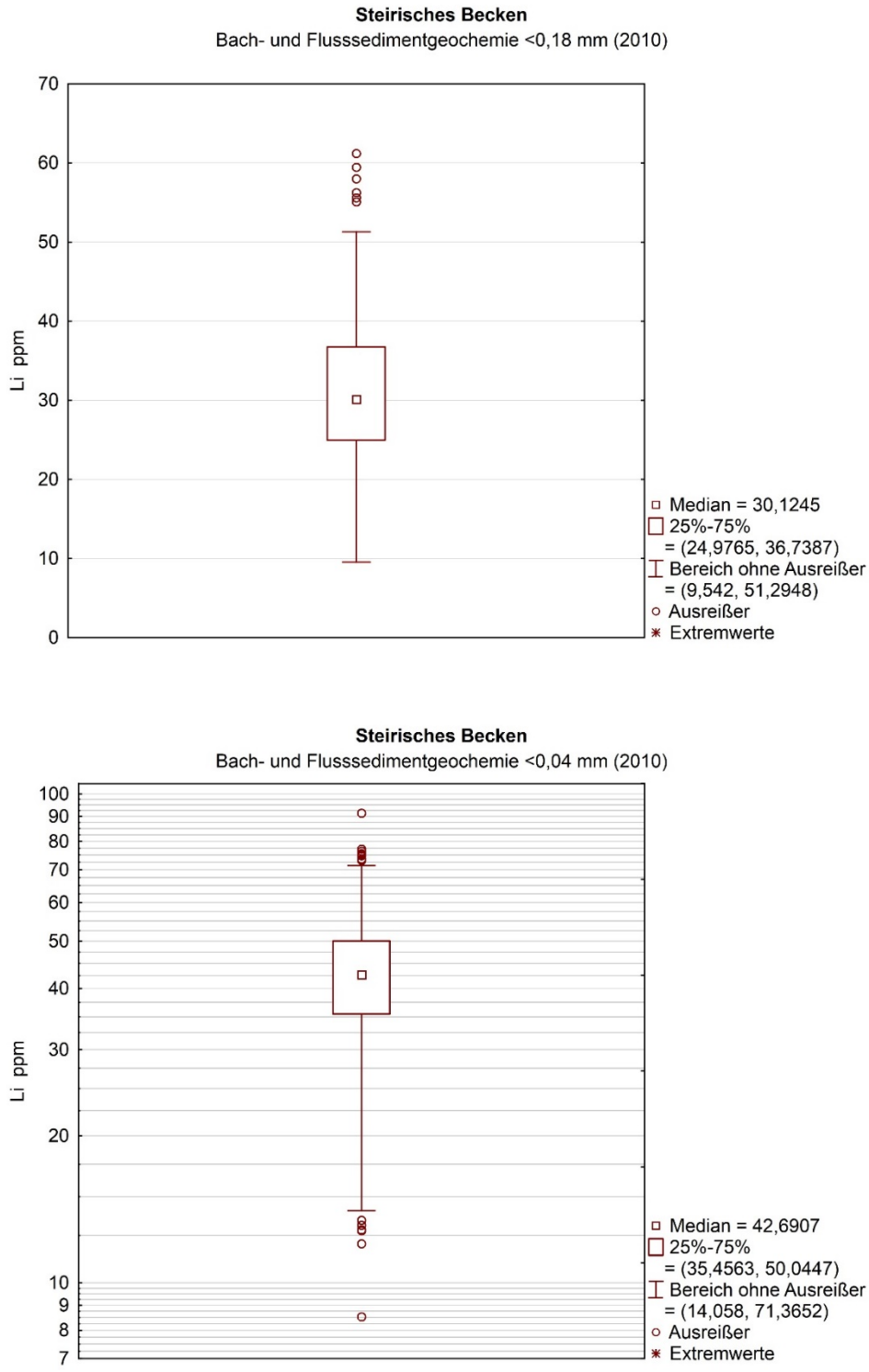


Abb. 24: Box-Plots-Darstellungen für Lithium in Bachsedimenten der Fraktion <0,18 mm und der Fraktion < 0,04 mm im Bereich des Neogens/Quartärs des Steirischen Beckens.

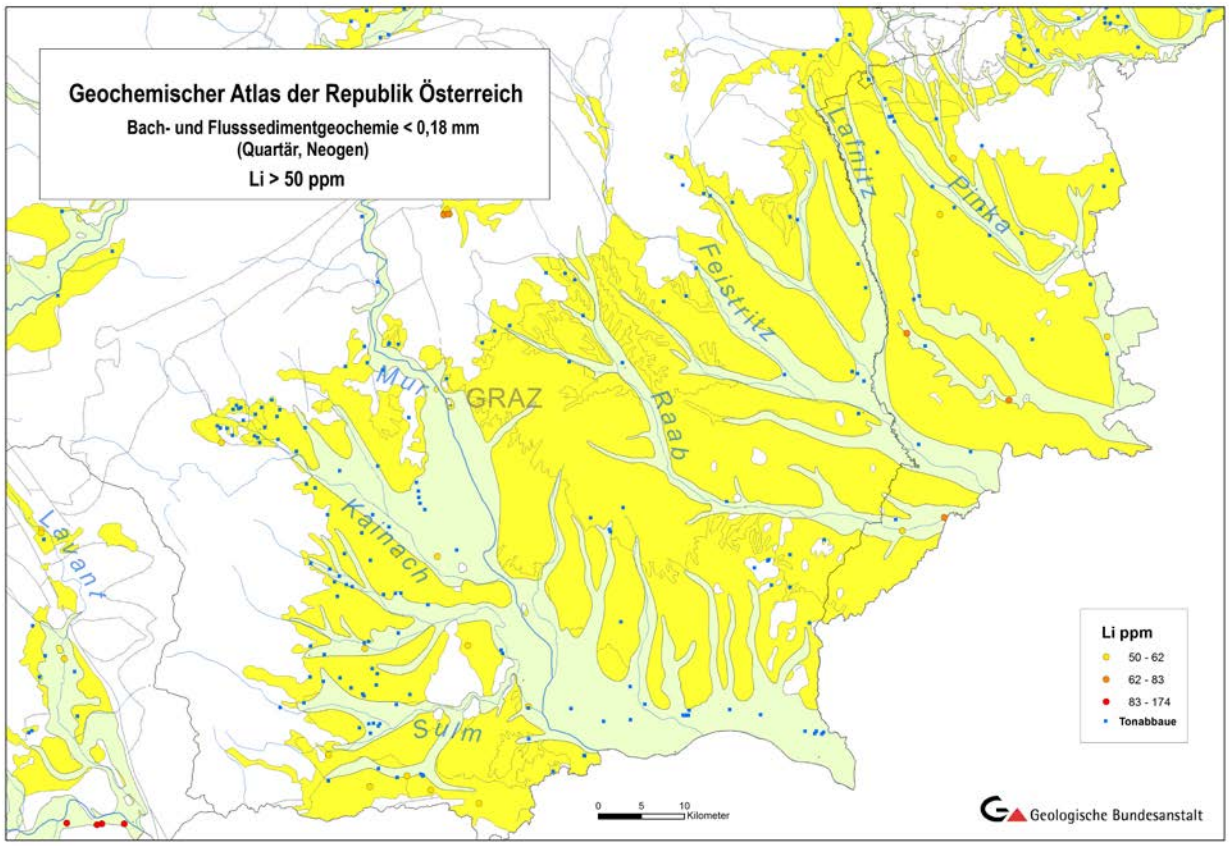


Abb. 25: Elementverteilung für Lithium (> 50 ppm) in Bachsedimenten (< 0,18 mm) im Einzugsgebiet des Steirischen Beckens (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

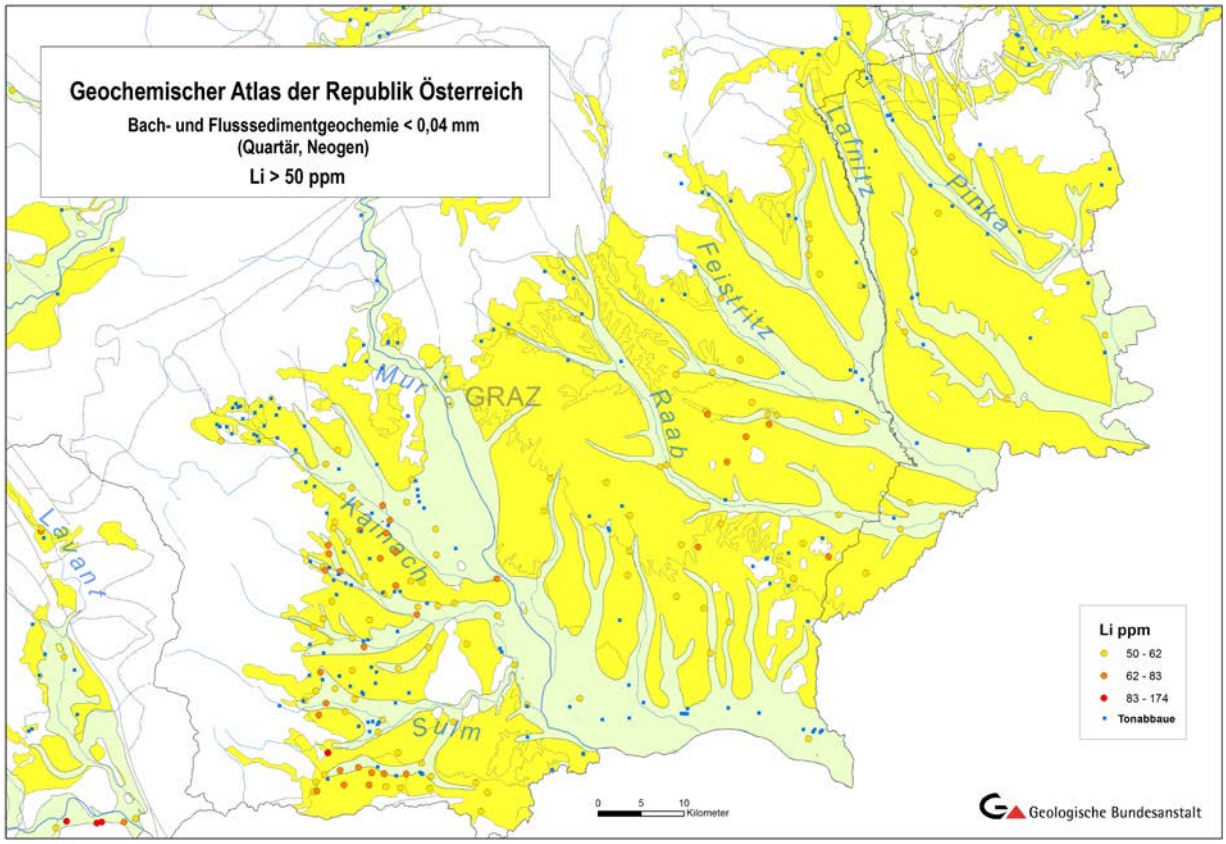


Abb. 26: Elementverteilung für Lithium (> 50 ppm) in Bachsedimenten (< 0,04 mm) im Einzugsgebiet des Steirischen Beckens (selektiver Auszug - Neogen/Quartär).

4.3 Chemische Untersuchungen ausgewählter Kaolin-/Tonvorkommen im Umfeld der Böhmischen Masse (NÖ/OÖ) mit Schwerpunkt auf ihre SEE-Gehalte

Zur Untersuchung des Potenzials von Ionen-adsorptiver Bindung von SEE an Tonminerale wurden drei Untersuchungsgebiete (Karlstetten, Mörtersdorf/Horner Becken, Kriechbaum) ausgewählt, die aufgrund geologischer, mineralogischer und geochemischer Überlegungen für solche spezifischen Bindungsformen noch am ehesten geeignet erschienen. Ein Nahbereich zum Kristallinrand bzw. Kristallinuntergrund, das Vorhandensein SEE-führende Mineralphasen aus den benachbarten Liefergebieten bzw. im Alterationsausgangsgestein und spezifische, kleinräumig strukturierte Sedimentations-/Umlagerungsbedingungen waren dabei die wesentlichen Voraussetzungen für die Auswahl der Testgebiete.

Da die großen Ionen-adsorptiven SEE-Lagerstätten meist an lateritisch verwitterte Kaolinlagerstätten gebunden sind, betrafen zwei der Auswahlgebiete Kaolinlagerstätten sowie eines ein Tonvorkommen im Horner Becken. Die Proben stammen von Bohrungs-Rückstellproben, die noch aus früheren Prospektionsprogrammen im Probenarchiv der Geologischen Bundesanstalt vorhanden waren (AUSTROMINERAL, 1984).

Für den Bereich der Kaolinlagerstätte Kriechbaum konnte auf einige Analysen eines früheren VLG-Projektberichts (SCHEDL et al., 2014) und auf gezielte Untersuchungen des SEE-Potenzials im Rahmen einer Diplomarbeit (HÖHN, 2013; HÖHN et al., 2014) zurückgegriffen werden. Zum besseren Verständnis der SEE-Verteilung und von Anreicherungsprozessen in der Kaolinlagerstätte Kriechbaum werden neben den Rohkaolindaten zum Vergleich auch die SEE-Gehalte in Produkten und Aufbereitungsrückständen dargestellt.

Die Gesamtdarstellung der Untersuchungsergebnisse ist in den Tabellen 9 und 10 zusammengefasst, wobei Tabelle 10 nur die Ergebnisse der SEE-Analytik berücksichtigt. Die jeweiligen SEE-Elementverteilungen sind in den Abbildungen 27 und 28 auch grafisch zusammengefasst.

Die beiden Proben aus Karlstetten stammen aus zwei Kaolin-Erkundungsbohrungen (KA-1/83, KA-3/83), die im Bereich der Kaolinlagerstätte Karlstetten angesetzt waren (AUSTROMINERAL, 1984). Die Kaolinbildung setzt hier direkt auf einem pyroxenfreien Granulit auf. Während die untersuchte Probe aus der Bohrung KA-3/83 das Kaolinprofil (16,6 m Kaolin-Mächtigkeit) direkt auf dem im obersten Teil stark verwitterten Granulituntergrund repräsentiert, zeigt die Probe aus der Bohrung KA-1/83 bereits deutliche Einflüsse sekundärer Umlagerungen.

Hinsichtlich SEE-Verteilung weisen die beiden untersuchten Proben deutliche Unterschiede auf, die zum Teil auf Umlagerungsprozesse zurückzuführen sind. Die Probe aus der Bohrung KA-1/83 ist deutlich an SEE abgereichert und weist mit einem SEE-Gesamtgehalt von 141 ppm die geringsten Gehalte aller untersuchten Kaoline/Tone bzw. aus Literaturdaten zur Verfügung stehenden Kaolinanalysen auf.

Die Probe aus der Bohrung KA-3/83 zeigt hingegen bemerkenswerte Anreicherungen an schweren SEE, insbesondere von Y, Gd, Dy, Er und Yb (Abb. 27). In der Typologie der Anreicherung der schweren SEE, der Abreicherung der leichten SEE und auch im Vergleich mit SEE-Verteilungsmustern aus chinesischen Kaolin-Lagerstätten entspricht diese Probe sehr gut einem Ionen-adsorptiven-SEE-Lagerstättentypus. Es wäre auf jeden Fall der erste Nachweis eines solchen sekundären SEE-Lagerstättentypus in Österreich.

Mit einem SEE-Gesamtgehalt von 858 ppm liegt die Probe aus der Bohrung KA-3/83 im unteren Grade-Bereich internationaler Ionen-adsorptiven Lagerstätten, aber immer noch deutlich höher als in den untersuchten Rohkaolinproben von Kriechbaum. Zur endgültigen Abklärung des tatsächlichen Anteils einer adsorptiven Bindung an die Tonminerale wären dazu noch ergänzende Untersuchungen des Schwermineralspektrums und mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen der Kaolin-Mineralphasen erforderlich.

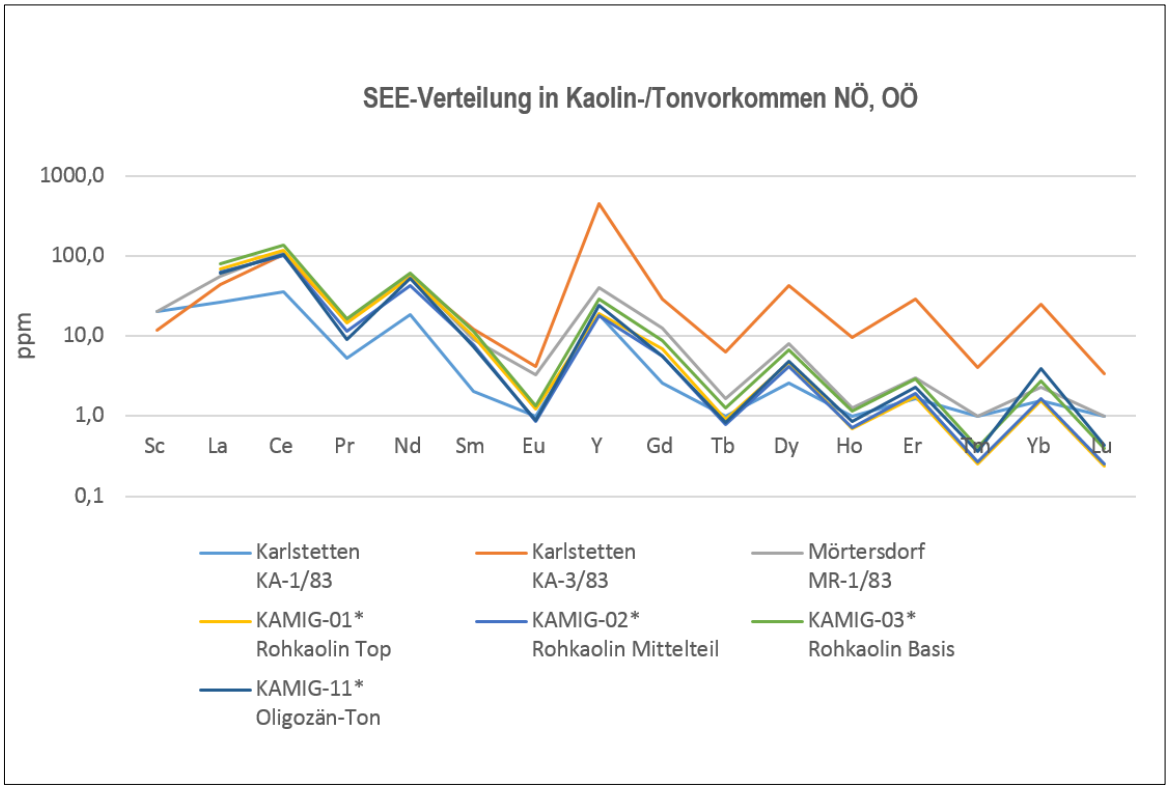


Abb. 27: SEE-Verteilung in ausgewählten Kaolin-/Tonvorkommen in NÖ und OÖ (* Datenquelle: HÖHN, 2013).

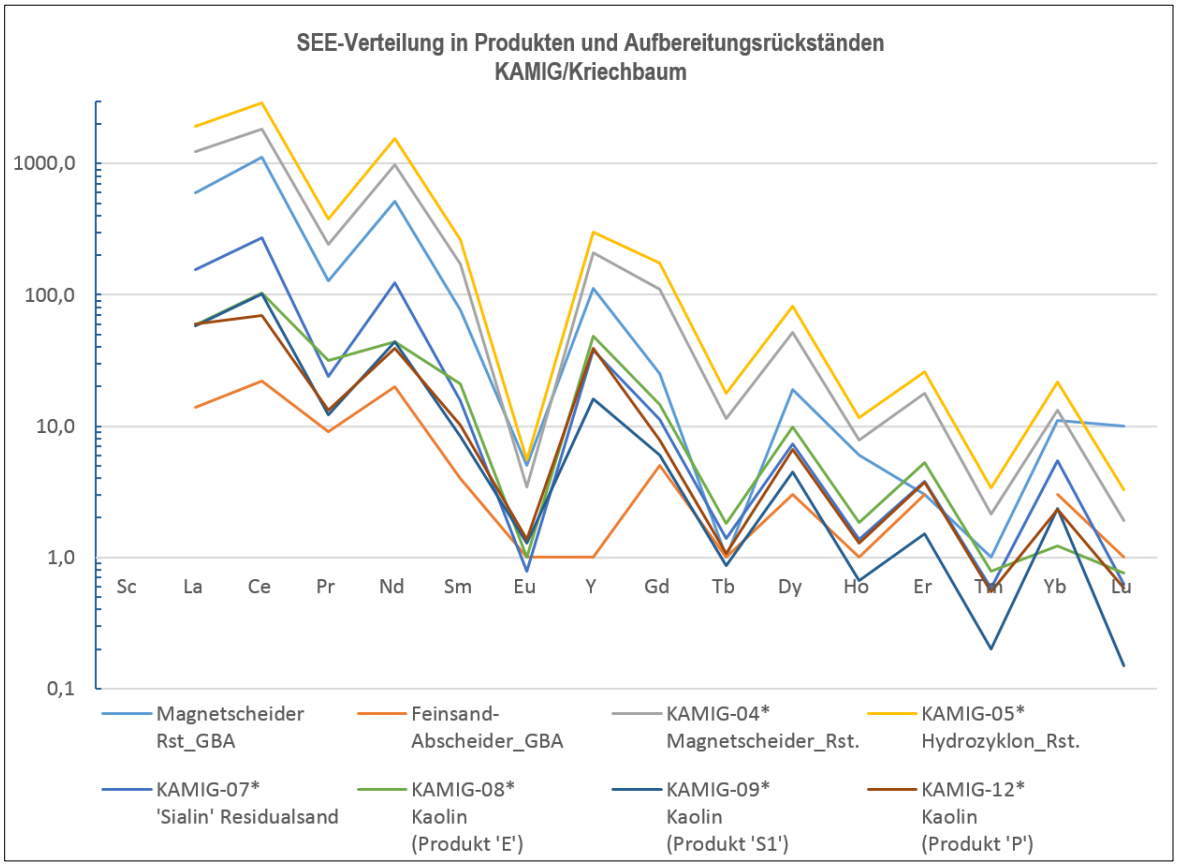


Abb. 28: SEE-Verteilung in Produkten und Aufbereitungsrückständen der KAMIG/Kriechbaum (* Datenquelle: HÖHN, 2013).

Tab. 9: Spurenelementchemismus ausgewählterTon-/Kaolinproben aus den Kaolinlagerstätten Karlstetten und Kriechbaum (Daten aus HÖHN, 2013) sowie des Tonvorkommens Mörtersdorf/Horner Becken.

Bezeichnung	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Li	Lu	Mo	Nb	Nd
Karlstetten KA-1/83	250,6	36,4	6,2	39,8	2,2	28,2	2,6	1,7	< 1	22,5	2,6	1,2	< 1	26,5	25,7	< 1	1,1	20,4	18,7
Karlstetten KA-3/83	176,3	104,7	5,0	27,2	1,9	21,0	43,6	29,0	4,1	22,7	29,3	1,5	9,7	44,5	30,6	3,4	13,9	18,0	56,3
Mörtersdorf MR-1/83	367,7	113,6	13,8	139,0	15,0	16,6	8,0	3,1	3,3	37,2	12,6	3,2	1,3	56,3	70,9	< 1	2,2	29,4	57,4
KAMIG-01* Rohkaolin Top	231,0	120,0	26,4	11,8	1,6	2,6	4,7	1,8	1,2	30,3	6,9	7,2	0,7	68,5		0,2	1,7	24,0	53,9
KAMIG-02* Rohkaolin Mittelteil	481,0	103,0	27,2	15,6	15,6	4,9	4,2	1,9	0,9	28,9	5,7	7,5	0,7	63,7		0,3	6,5	24,8	42,8
KAMIG-03* Rohkaolin Basis	864,0	137,0	38,9	16,4	12,8	8,7	6,8	2,9	1,4	22,3	9,0	8,0	1,2	79,4		0,4	0,5	23,7	62,2
KAMIG-11* Oligozän-Ton	735,0	104,0	100,0	11,8	8,8	6,7	4,8	2,3	0,9	22,4	5,7	5,6	0,9	60,7		0,4	0,5	22,2	52,3

Bezeichnung	Ni	Pr	Rb	Sc	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
Karlstetten KA-1/83	10,3	5,3	77,4	20,1	2,1	1,3	166,8	< 1	< 1	9,2	< 1	< 1	78,1	15,9	18,5	1,6	41,5	272,4
Karlstetten KA-3/83	11,0	15,7	80,7	11,8	12,3	1,9	164,8	< 1	6,3	6,3	4,1	1,4	60,0	26,0	458,0	24,9	48,2	240,2
Mörtersdorf MR-1/83	48,1	16,2	118,2	20,3	9,0	8,5	159,6	1,1	1,7	8,4	< 1	6,1	70,0	16,4	40,9	2,3	102,3	198,5
KAMIG-01* Rohkaolin Top	2,2	14,6	78,9		10,0	1,7	43,3	3,0	0,9	65,4	0,3	4,5	53,3		19,2	1,6	13,9	240,0
KAMIG-02* Rohkaolin Mittelteil	6,5	11,7	336,0		8,0	5,1	76,1	2,9	0,8	69,7	0,3	7,2	62,1		18,2	1,7	25,1	256,0
KAMIG-03* Rohkaolin Basis	5,3	16,3	269,0		11,7	11,5	114,0	2,8	1,3	46,3	0,4	6,5	52,6		29,5	2,8	53,2	264,0
KAMIG-11* Oligozän-Ton	5,0	9,2	238,0		7,4	12,1	251,0	3,1	0,8	28,0	0,4	4,0	41,6		24,6	4,0	39,6	492,0

Tab. 10: SEE-Analytik ausgewählter Ton-/Kaolinproben aus Karlstetten, Mörtersdorf und Kriechbaum (Daten aus HÖHN, 2013) sowie von Produkten und Aufbereitungsrückständen aus Kriechbaum (SCHEDL et al., 2014; HÖHN, 2013).

Bezeichnung	Karlstetten KA-1/83	Karlstetten KA-3/83	Mörtersdorf MR-1/83	KAMIG-01* Rohkaolin Top	KAMIG-02* Rohkaolin Mittelteil	KAMIG-03* Rohkaolin Basis	KAMIG-11* Oligozän-Ton
Sc	20,1	11,8	20,3				
La	26,5	44,5	56,3	68,5	63,7	79,4	60,7
Ce	36,4	104,7	113,6	120,0	103,0	137,0	104,0
Pr	5,3	15,7	16,2	14,6	11,7	16,3	9,2
Nd	18,7	56,3	57,4	53,9	42,8	62,2	52,3
Sm	2,1	12,3	9,0	10,0	8,0	11,7	7,4
Eu	1,0	4,1	3,3	1,2	0,9	1,4	0,9
Y	18,5	458,0	40,9	19,2	18,2	29,5	24,6
Gd	2,6	29,3	12,6	6,9	5,7	9,0	5,7
Tb	1,0	6,3	1,7	0,9	0,8	1,3	0,8
Dy	2,6	43,6	8,0	4,7	4,2	6,8	4,8
Ho	1,0	9,7	1,3	0,7	0,7	1,2	0,9
Er	1,7	29,0	3,1	1,8	1,9	2,9	2,3
Tm	1,0	4,1	1,0	0,3	0,3	0,4	0,4
Yb	1,6	24,9	2,3	1,6	1,7	2,8	4,0
Lu	1,0	3,4	1,0	0,2	0,3	0,4	0,4
∑ SEE	140,9	857,9	347,9	304,37	263,71	362,11	278,34

Bezeichnung	Magnetscheider Rst_GBA	Feinsand-Abscheider_GBA	KAMIG-04* Magnetscheider_Rst.	KAMIG-05* Hydrozyklon_Rst.	KAMIG-07* 'Sialin' Residualsand	KAMIG-08* Kaolin (Produkt 'E')	KAMIG-09* Kaolin (Produkt 'S1')	KAMIG-12* Kaolin (Produkt 'P')
Sc								
La	596,0	14,0	1237,0	1915,0	155,0	58,8	58,0	60,5
Ce	1121,0	22,0	1822,0	2917,0	273,0	104,0	101,0	69,9
Pr	127,0	9,0	244,0	378,0	23,8	31,8	12,2	13,2
Nd	520,0	20,0	986,0	1555,0	123,0	43,9	43,6	39,3
Sm	77,0	4,0	171,0	264,0	15,7	21,1	8,4	10,1
Eu	5,0	1,0	3,5	5,6	0,8	1,0	1,3	1,4
Y	112,0	1,0	209,0	301,0	38,1	48,5	16,0	39,3
Gd	25,0	5,0	110,0	174,0	11,2	14,5	6,0	7,9
Tb	1,0	1,0	11,5	17,7	1,4	1,8	0,9	1,1
Dy	19,0	3,0	51,7	81,5	7,4	9,9	4,5	6,6
Ho	6,0	1,0	7,8	11,6	1,4	1,8	0,7	1,3
Er	3,0	3,0	17,7	25,9	3,8	5,3	1,5	3,8
Tm	1,0	1	2,1	3,4	0,6	0,8	0,2	0,6
Yb	11,0	3,0	13,3	21,7	5,5	1,2	2,4	2,3
Lu	10,0	1,0	1,9	3,3	0,6	0,8	0,2	0,6
∑ SEE	2634,0	88,0	4888,5	7674,6	661,2	345,2	256,7	257,7

Als weitere Vergleichsprobe wurde eine Tonprobe aus einer Prospektionsbohrung im Horner Becken (NW Mörtersdorf, MR-1/83) für Spurenelementanalytik ausgewählt (AUSTROMINERAL, 1984). Die erbohrten Tone gehören zur Pielach-Formation (Egerium), die sich in der Bohrung aus grauen, teilweise auch bunten, kaum geschichteten Tonen zusammensetzt. Die Tonmächtigkeit in dieser Bohrung erreicht über 15 m, der Kristallinuntergrund wurde hier bereits bei 19,4 m erreicht (AUSTROMINERAL, 1984).

Die SEE-Gesamtgehalte in der untersuchten Tonprobe liegen bei 348 ppm und damit im Variationsbereich der Rohkaolinproben aus Kriechbaum (vgl. Tab. 9, 10 und Abb. 27). Die SEE-Verteilungsmuster zeigen auch sonst große Ähnlichkeiten zu den Rohkaolin-Proben aus Kriechbaum. Die schweren SEE sind gegenüber diesen etwas angereichert, liegen aber deutlich unter denen der Probe KA-3/83 aus Karlstetten. Im Fall der SEE-Untersuchungen an Rohkaolin der Kaolinlagerstätte Kriechbaum konnte - wie bereits erwähnt - auf ein detailliertes Untersuchungsprogramm im Zuge einer Diplomarbeit der Universität Würzburg zurückgegriffen werden (HÖHN, 2013; HÖHN, FRIMMEL & PASAVA, 2014).

Das Verhalten der SEE während der Kaolinitisierung kann grundsätzlich als Funktion des Mineralbestands vor der Alteration angesehen werden. Die Detailuntersuchung von Kaolinproben aus Kriechbaum und des unterlagernden Mauthausener Granits hat ergeben, dass Monazit im Rohkaolin und auch im Granit neben Apatit, Rutil und Zirkon als SEE-Hauptträgerphase fungiert (HÖHN, 2013; SCHEDL et al., 2014). Monazit hat dabei die Kaolinitisierung relativ stabil überstanden. Ionen-adsorptive Bindung von SEE spielt bei dieser Kaolin-Lagerstätte offensichtlich eine deutlich geringere Rolle als erwartet.

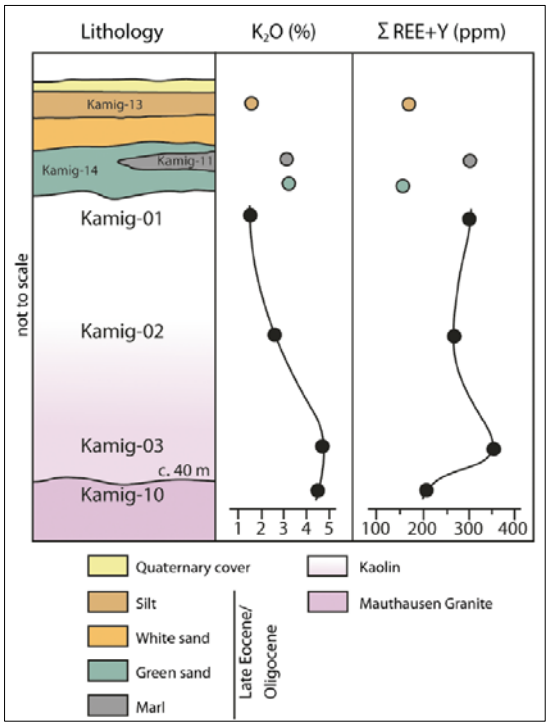


Abb. 29: Elementverteilung von K_2O und SEE in einem Tagbauaufschluss der Lagerstätte Kriechbaum (aus HÖHN et al., 2014; vgl. Analysenergebnisse in Tab. 10).

Der SEE-Gehalt im Kaolin-Profil ist an der Basis über dem Mauthausener Granit am höchsten (362 ppm) und nimmt dann mit zunehmender Kaolinitisierung wieder ab (Abb. 29). Im vollständig kaolinitisierten Top der Lagerstätte wird ein Gesamtgehalt von 304 ppm erreicht, was doch sehr deutlich unter den durchschnittlichen Gehalten der wirtschaftlich genutzten Ionen-adsorptiven Kaolinlagerstätten in China mit 1000-3000 ppm SEE liegt.

Aus den normierten Verteilungsdiagrammen in Abbildung 30 ist ersichtlich, dass es im Zuge der Kaolinitisierung in der Lagerstätte Kriechbaum zu einer geringen Anreicherung der leichte SEE und einer geringen Abreicherung der schweren SEE kommt (HÖHN, 2013). Die für Ionen-adsorptive SEE-Lagerstätten typische Anreicherung von schweren SEE fehlt also in der Kaolinlagerstätte Kriechbaum vollständig. Die mit der Kaolinitisierung einhergehende Zunahme der Thorium-Gehalte wird mit der Anreicherung von Monazit im Kaolin interpretiert (HÖHN et al., 2014).

Die beiden finalen Kaolinprodukte (Kamig-08 und Kamig-09) zeigen ein ähnliches Verteilungsmuster wie der Rohkaolin und das Ausgangsgestein Mauthausener Granit. Bemerkenswerte SEE-Anreicherungen sind hingegen bei der Aufbereitung der Rohkaoline in den Aufbereitungsrückständen (Kamig-04 und Kamig-05) zu beobachten, sowohl bei den leichten als auch bei den schweren SEE. Die mittels Magnetscheider und Hydrozyklone abgetrennten Mineralphasen erreichen sehr hohe Gehalte an SEE, aber auch an Niob (vgl. SCHEDL et al., 2014). Die höchsten Gehalte an SEE finden sich mit fast 0,77 % in den Ab-

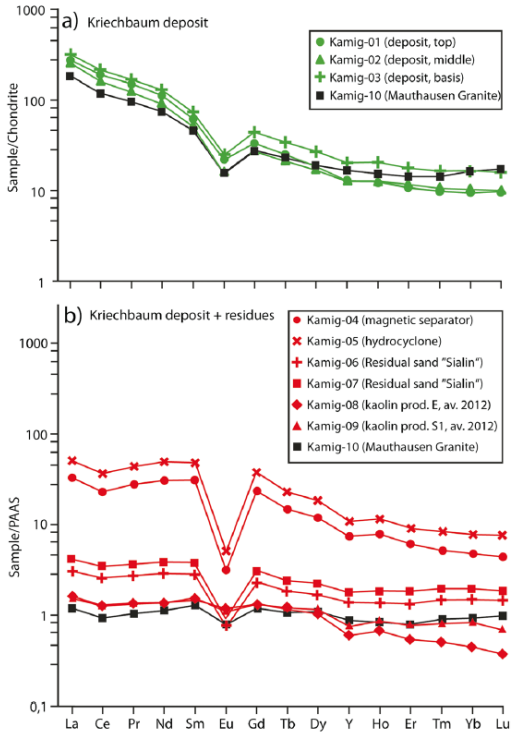


Abb. 30: a Chondrit-normierte SEE-Verteilung in Kaolinproben aus Kriechbaum und in Mauthausener Granit; b Post-Archean Australian Shale (PAAS) normierte SEE-Verteilung von Aufbereitungsabgängen und Produkten aus der Kaolin-Rohstoffgewinnung in Kriechbaum (aus HÖHN et al., 2014).

gängen aus der Hydrozyklon-Abtrennung (HÖHN, 2013). Bei den Magnetscheider-Rückständen beträgt der SEE-Anteil zwischen 0,26-0,49 % (SCHEDL et al., 2014; HÖHN, 2013). Die Schwermineralzusammensetzung der Magnetscheiderabgänge wurde bereits im Rahmen eines Vorprojektes untersucht (SCHEDL et al., 2014). Bei diesem Abtrennschritt werden die nichtmagnetischen Schwermineralanteile angereichert. Ilmenit ist in der Fraktion >0,06 mm mit 79 % die dominante Phase. Der Monazitanteil hingegen steigt auf über 10 % an, in der Feinfraktion <0,06 mm sogar auf über 32 %. Der Monazitanteil korrespondiert dabei auch sehr gut mit den deutlich erhöhten Thorium-Gehalten in den Rückständen des Magnetscheiders. Trotz der bemerkenswert hohen SEE- und Nb-Gehalte der Aufbereitungsrückstände haben diese Sekundärrohstoffe aufgrund ihres geringen Mengenanfalls keine wirtschaftliche Relevanz.

4.3.1 Bewertung der Potenziale

Die Kaolinlagerstätte Kriechbaum entspricht nach den festgestellten SEE-Verteilungen keinem Ionen-adsorptiven Lagerstättentypus. Die SEE-Gehalte sind hier vorwiegend durch die spezifische Schwermineralführung bedingt. Die wirtschaftlich interessanten schweren SEE zeigen dabei überhaupt keine Anreicherungen. Aufgrund der niedrigen SEE-Gehalte im Rohkaolin ist im Bereich der Kaolinlagerstätte Kriechbaum mit keinem wirtschaftlichen SEE-Potenzial im Kaolinrohstoff zu rechnen. Von den Gehalten an SEE und Nb durchaus interessant sind hingegen die Aufbereitungsrückstände aus der Kaolinaufbereitung (Magnetscheider, Hydrozyklone). Die SEE-Gesamtgehalte von 0,26-0,77 % sind zwar bemerkenswert hoch, die jährlich anfallenden Mengen an Aufbereitungsabgängen sind für eine wirtschaftliche Nutzung aber viel zu gering.

Die Tone der Pielach-Formation aus dem Bereich des Horner Beckens besitzen direkt an das Kristallin der Böhmischen Masse angrenzend durchaus interessante Mächtigkeiten von teilweise über 20 Metern, hinsichtlich SEE-Gehalte sind sie aber vergleichbar mit den Kaolintonen von Karlstetten als relativ niedrig einzustufen. Die SEE-Gehalte sind auch hier vor allem durch die Schwermineralführung bedingt.

Die untersuchte Kaolinprobe aus Karlstetten (KA-3/83) entspricht als einzige der untersuchten Proben aufgrund der festgestellten SEE-Verteilungsmuster einer typischen Ionen-adsorptiven SEE-Lagerstätte mit charakteristisch angereicherten schweren SEE. Mit einem SEE-Gesamtgehalt von rund 0,09 % liegt dieser im unteren Bereich der weltweit wirtschaftlich genutzten Lagerstätten dieses Typus. Genaue Angaben über das Kaolin-Potenzial dieser Lagerstätte stehen leider nicht zur Verfügung. Die Lagerstätte liegt hier direkt auf einem horstartig aufragenden Granulit, wobei die laterale Ausdehnung durch Störungen begrenzt ist. Gegen Westen nimmt dabei die Mächtigkeit des Kaolins deutlich ab. Aus Archivunterlagen der AUSTROMINERAL geht hervor, dass hier eine Kaolinlagerstätte in der Größenordnung bis 2,6 Mio. t Kaolin vorliegt. Bezogen auf diese angeschätzte Kennzahl und der orientierenden Spurenelementanalytik wäre dies ein SEE-Gesamtpotenzial von rund 2200 t.

4.4 Untersuchung von Sekundärrohstoffen aus der Leukophyllitaufbereitung in Aspang

Die Aspanger Bergbau und Mineralwerke GmbH & CO KG mit der Leukophyllitlagerstätte in Aspang ist ein wichtiger Produzent mineralischer Produkte auf Glimmerbasis und einer zusätzlichen Produktionslinie im Bereich Quarzsand. Das Rohgut wird im Tagbau gewonnen und in den betriebseigenen Produktionsanlagen in Aspang aufbereitet und veredelt (siehe Abb. 31 bis 33). Je nach industriellem Einsatz werden im Wesentlichen drei Hauptprodukte hergestellt. Aspanger MICA ist ein reines Muskovit-Produkt, Aspanger ASPOLIT ein spezieller 3-Komponenten-Füllstoff bestehend aus Muskovit, Quarz und Chlorit sowie Aspanger MICA-T ein trocken vermahlener quarzfreier Muskovit.

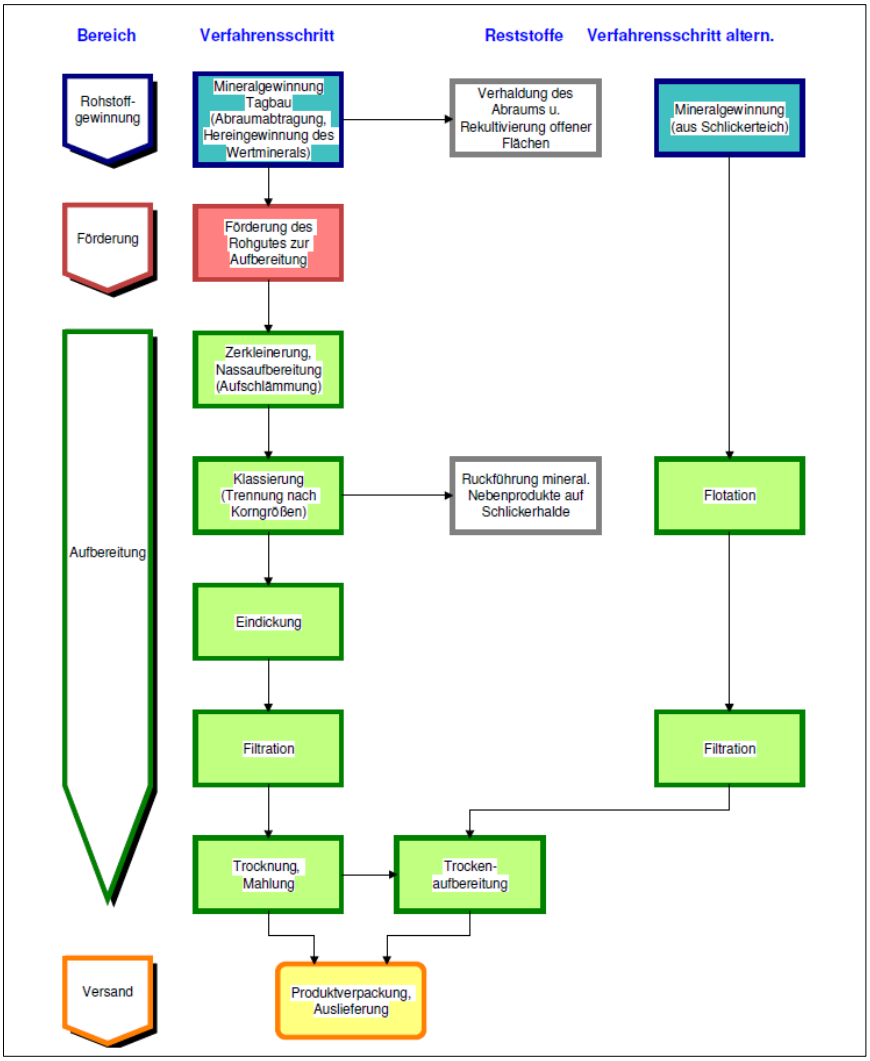


Abb. 31: Verfahrensschritte in der Leukophyllit-Gewinnung in Aspang (aus ASPANGER Bergbau und Mineralwerke GesmbH & Co KG, 2014).

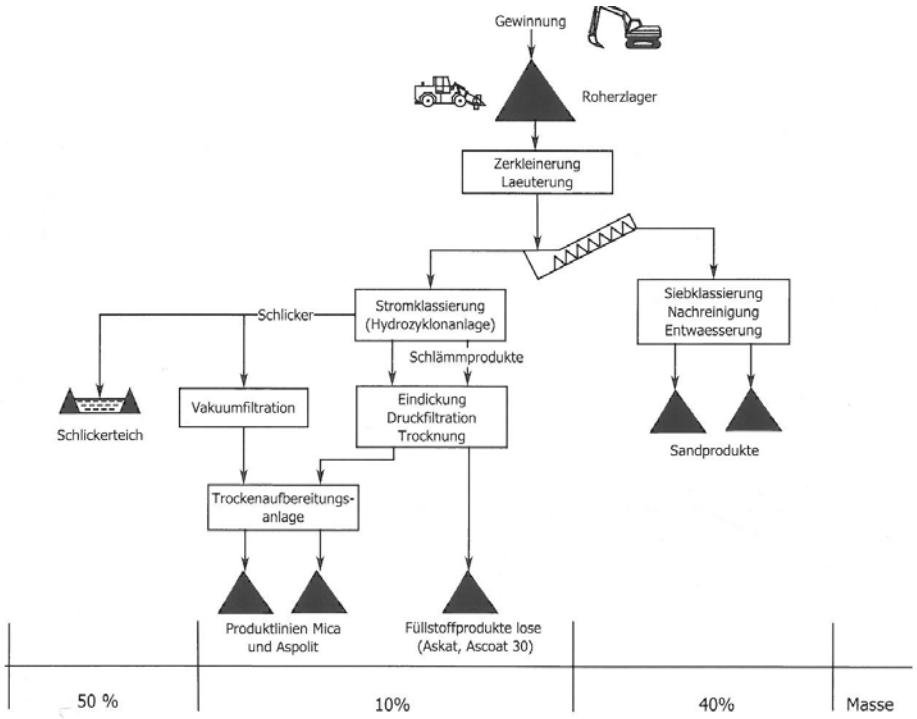


Abb. 32: Flow Sheet des Leukophyllit-Aufbereitungsprozesses im Werk Aspang (aus KLINAR, 2001).

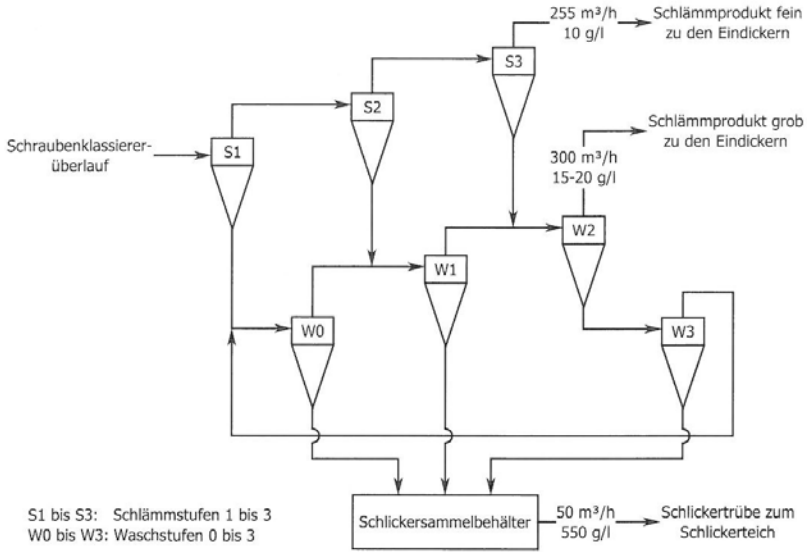


Abb. 33: Schlämmprozessstufen in der Hydrozyklonanlage des Werks Aspang (aus KLINAR, 2001).

In einem ersten Abtrennschritt wird das Klassierergrobgut gesiebt, gewaschen und entwässert und als Quarzsandprodukt vermarktet (Sande mit den Körnungen 0-4 mm und 4-40 mm) (Abb. 32). Das Klassierfeingut wird über eine mehrstufige Hydrozyklonanlage in wertstoffreiche Feinfraktionen sowie in wertstoffarme Reststoffe getrennt. Die Weiterverarbeitung der Feinfraktionen erfolgt dann in nachfolgenden Verarbeitungsstufen (Abb. 33). Der überwiegende Teil der Aufbereitungsabgänge wird als mineralisches Feststoff-Wasser-Gemisch (Schlicker) in einem eigens dafür angelegten Schlickerteich gepumpt und dort wieder entwässert. Ein kleiner Teil der Aufbereitungsabgänge wird für bestimmte Produktpaletten in der

Produktion weiter aufbereitet und als Beiprodukt vermarktet (1000-1500 t/a). Schlicker wird dabei zum Teil haldenfeucht als Bodenhilfsstoff und trocken für die Baustoffindustrie verkauft.

Zur Deponierung der Aufbereitungsabgänge wurden bisher zwei große Schlickerteiche angelegt. Neben dem noch im Betrieb befindlichen Schlickerteich II gibt es auf dem Betriebsareal noch einen Schlickerteich I, der aber bereits vollständig verfüllt und weitgehend rekultiviert ist (vgl. Abb. 34). Beide Schlickerteiche umfassen nach Betriebsangaben derzeit geschätzte 3,5 Mio. t Schlickermaterial. Nach der natürlichen Entwässerung lagert in den Schlickerteichen ein Sekundärrohstoff (250-40 µm), der wiederum bei Bedarf verarbeitet werden könnte.

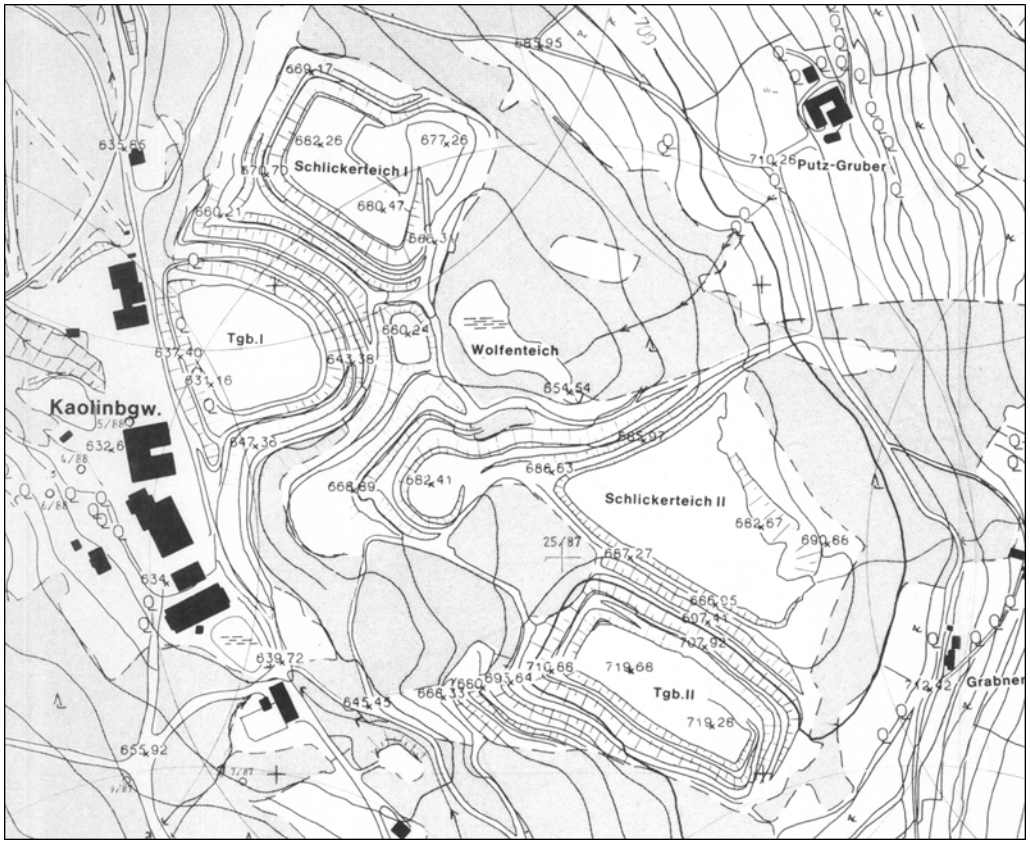


Abb. 34: Ausschnitt aus Übersichtsplan des ‚Kaolinbergbaus Aspang mit den beiden früheren Tagbauen I und II sowie den beiden Schlickerteichen I und II (Ausschnitt aus ‚Aspanger Kaolin- und Steinwerke AG, Lage und Höhenplan, Bohrprogramm 1989; Lagerstättenarchiv GBA).

Im Zuge der Neukonzeptionierung der Aufbereitung Anfang der 2000-er Jahre wurde ein Fokus der Bemühungen auch auf eine verbesserte Verarbeitung des Schlickers gelegt. Durch die Möglichkeit der weiteren Verarbeitung des Schlickers aus der laufenden Produktion bzw. aus den bestehenden Bergteichen sollte damit das Haldenvolumen reduziert und eine nachhaltige Nutzung der Lagerstätte erreicht werden (KLINAR, 2001). Die ursprünglich zur weiteren Aufbereitung des Schlickermaterials vorgesehene Flotationsanlage ist aber seit 2014 stillgelegt. In der Flotationsanlage erfolgte zuerst die Abtrennung des Pyrits mittels Schwerkraftsortierung. Anschließend wurde in einer mehrstufigen Rührwerksflotation ein reines Glimmerprodukt gewonnen. Die Flotationsrückstände wurden nicht mehr in den Schlickerteich rückgeleitet, sondern im Tagbau eingebaut.

Aus der Rohglimmergewinnung 2000-2014 (Quelle: MONTANHANDBUCH) und den Angaben in den Umwelterklärungen der ASPANGER Bergbau und Mineralwerke GesmbH & Co KG ergeben sich Gesamtmengen der mineralischen Produktionsreststoffe (Schlicker) in der Größenordnung von rund 9000 bis

14000 t/a (rund 10000 t/a im Durchschnitt der letzten Jahre), wobei die Gesamtmenge der Produktionsreststoffe durch verbesserte Aufbereitungstechnologien aber auch durch die reduzierte Gesamtproduktion in den letzten Jahren abgenommen hat. 2010 bis 2015 betrug die Rohglimmergewinnung zwischen 26580 und 38560 t, und die jährliche Quarzsandproduktion 15000-20000 t. Der höchste Stand der Rohglimmergewinnung aber auch der Quarzsandgewinnung wurde in den 1980-er Jahren erreicht (maximale Rohglimmerproduktion 62435 t – 1985, maximale Quarzsandproduktion 72095 t – 1987). Diese Produktionsmaxima hängen stark mit dem damaligen Haupteinsatzgebiet des Glimmerprodukts aus der Aspanger Lagerstätte als Füllstoff in der Papierindustrie zusammen. Aus diesen Anwendungsbereich hat sich der Betrieb infolge des internationalen Konkurrenzdrucks anderer Anbieter vollkommen zurückgezogen und sich danach auf reine Nischenprodukte konzentriert. Mit der neugeplanten Nassaufbereitung und der Weiterverarbeitung des überlagernden Semmeringquarzits soll in den nächsten Jahren die Quarzsandproduktion deutlich ausgeweitet werden.

Im Zuge einer Betriebsbesichtigung 2015 wurden dankenswerter Weise von der Betriebsleitung zwei Proben von Aufbereitungsabgängen für Detailuntersuchungen zur Verfügung gestellt. Die Proben stammen vom Lagerplatz neben der Aufbereitung, wo Aufbereitungsabgänge nach produktspezifischen Anwendungsbeeichen vorsortiert werden.

Probe 151061001 umfasst ein getrocknetes Schlickermaterial, das in dieser Form in kleinem Umfang als Beiprodukt (Bodenverbesserung, Baustoffindustrie) verkauft wird. In nicht entwässerter Form wird dieses Aufbereitungsprodukt vorwiegend direkt in den Schlickerteich gepumpt. Bei der Probe 151061002 handelt es sich um ein Feinsandprodukt der Körnung 0-6 mm, das in einem frühen Aufbereitungsschritt bei der Siebklassierung abgetrennt wird.

Die chemische Analyse der beiden Gesamtproben zeigt relativ geringe Gehalte an SEE und anderen kritischen Rohstoffelementen (Tab. 11, Abb. 35, 36). Sonstige kritische Rohstoffelemente sind nur in Spuren vertreten. Die Gehalte der analysierten SEE liegen in der Schlickerprobe mit 176 ppm (151061001) und in der Sandprobe mit 78 ppm (151061002) relativ niedrig. Auch in der Bachsedimentgeochemie des Umfeldes der Leukophyllitlagerstätte Aspang sind keine signifikanten SEE-Anreicherungen (Ce, La, Y) in den Bachsedimenten zu beobachten. Gegenüber dem Neben-/Ausgangsgestein weist der Leukophyllit aus Aspang eine geringfügige Abreicherung leichter als auch schwerer SEE aus (HUBER, 1994). Konform den Anreicherungsprozessen in der Aufbereitung finden sich SEE-Trägerminerale verstärkt in den Aufbereitungsabgängen (Schlickermaterial). Die Muster der SEE-Verteilung ähneln einander in den jeweiligen Elementpeaks der Proben, nicht aber in den Absolutgehalten.

Das Spektrum der Spurenelemente widerspiegelt im Wesentlichen die Zusammensetzung der Gesteinsakzessorien in den Ausgangsgesteinen der Leukophyllite (Abb. 36). Bei den Leukophylliten handelt es sich aus petrologischer Sicht um Serizitphyllite (Phyllonite); die durch hydrothermale Umwandlung aus den Porphyroiden des Semmering-Wechselsystems entstanden sind. Der Mineralbestand setzt sich überwiegend aus Serizit und Quarz zusammen, untergeordnet kommen auch Chlorit, Kalifeldspat, Apatit, Rutil, Monazit, Zirkon, Turmalin, Pyrit, Kupferkies und Fahlerz vor.

Aus den Untersuchungen von KIESL et al. (1983) und POCHASKA (1991) an Leukophylliten im Ostalpin geht hervor, dass es während der Leukophyllitbildung zu einer relativen Anreicherung von Schwermineralen kommt. Nach den Untersuchungen von HUBER (1994) kommt es gegenüber dem Ausgangsgestein Porphyroid im Leukophyllit zur Abreicherung von Ba, Co, Cr und Sr bzw. einer Anreicherung von Li, Rb und U (vgl. Abb. 36).

Nach der Spurenanalytik der Schlickerprobe wurde die in größerer Probenmenge (7 kg) vorhandene Probe zur Anreicherung und Herstellung von Schwermineralkonzentraten (<0,063 mm) verwendet (siehe Anhang). Die gewichteten Schwermineralgehalte in den drei Anreicherungstranchen sind sehr gering und liegen bei rund 0,17 %.

Das Schwermineralkonzentrat aus dem Schlickermaterial zeigt mit SEE-Gesamtgehalten von 1063 ppm zwar deutlich höhere SEE-Gehalte als das Ausgangsprobenmaterial, aber doch deutlich geringere Konzentrationen als beispielsweise die in den Vorprojekten untersuchten Flotationsabgängen der Quarzsandindustrie in Niederösterreich bzw. Oberösterreich (SCHEDL et al., 2014) (Abb. 37, Tab.11). Die leichten SEE (La, Ce, Nd) sind in der untersuchten Schwermineralprobe entsprechend der Anreicherung von Schwermineralen deutlich angereichert, was relativ gut mit den vorherrschenden Trägerphasen Apatit und Monazit korrelierbar ist. Die erhöhten Gehalte an bestimmten SEE (Y, Sm) korrespondieren ebenfalls sehr gut mit dem Anteil der wichtigsten Schwerminerale Apatit, Zirkon und Monazit und deren Spurenelementgehalten.

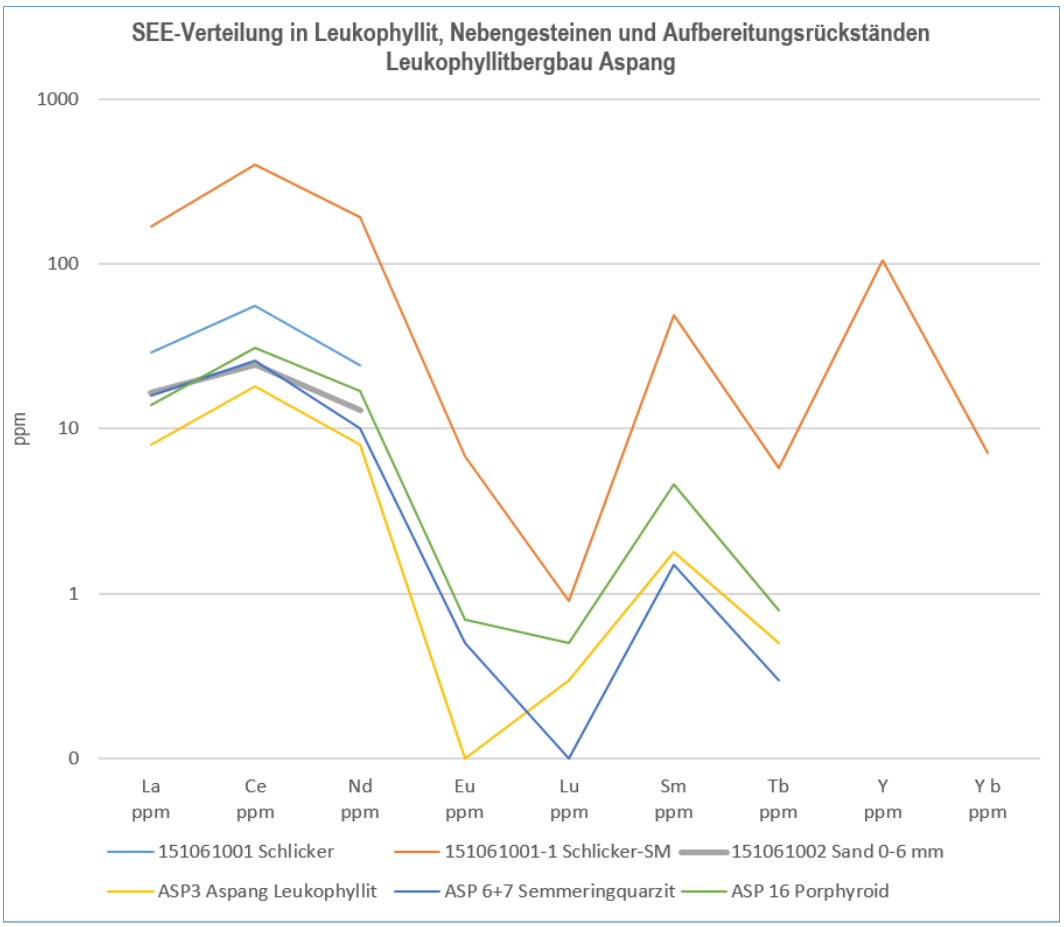


Abb. 35: SEE-Verteilung in Leukophyllit, Nebengesteinen und Aufbereitungsrückständen des Bergbaus in Aspang (mit Gesteinsgeochemie-Vergleichsdaten aus HUBER, 1994).

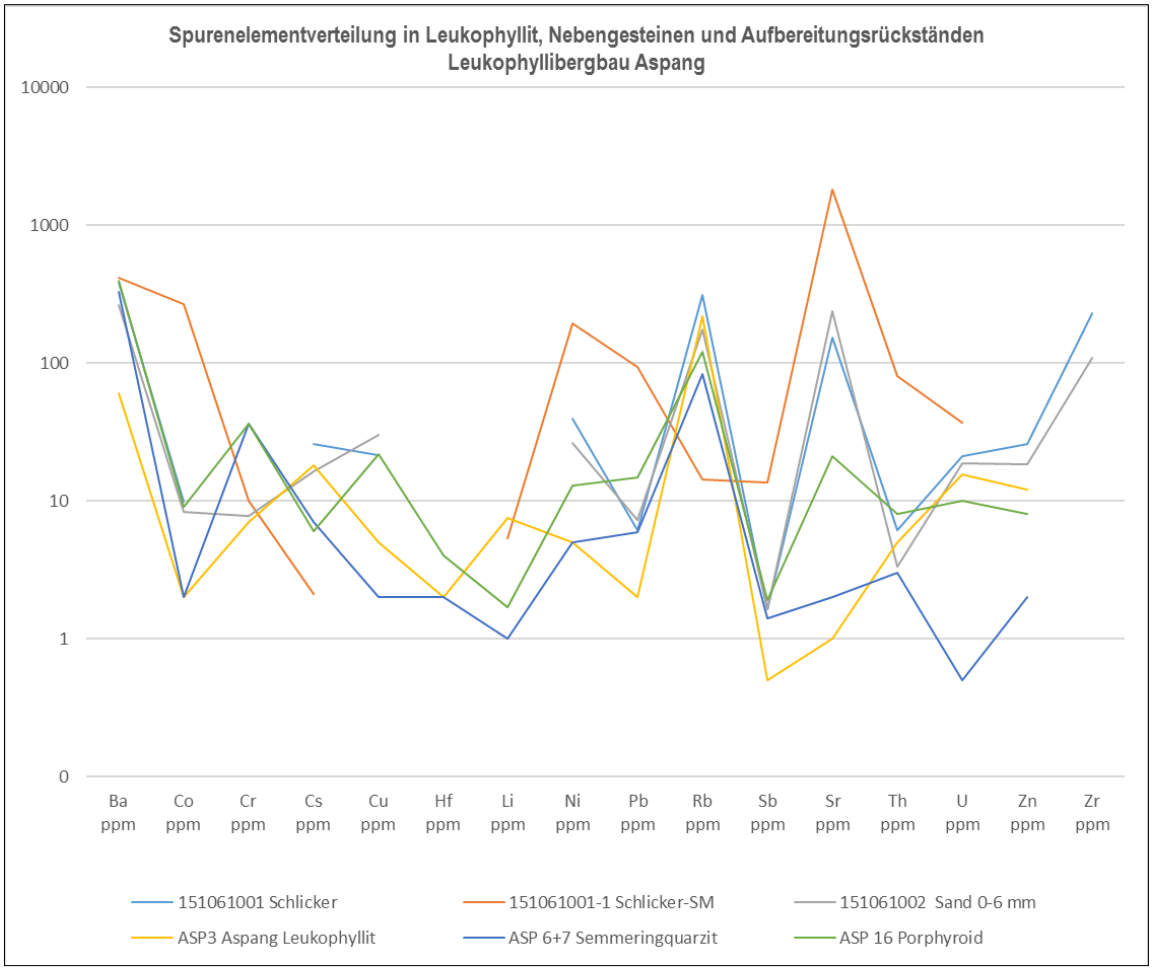


Abb. 36: Spurenelement-Verteilung in Leukophyllit, Nebengesteinen und Aufbereitungsrückständen des Bergbaus in Aspang (mit Gesteinsgeochemie-Vergleichsdaten aus HUBER, 1994).

Tab. 11: Spurenelementgehalte von Schlicker-, Schlicker/Sandproben aus der Leukophyllitaufbereitung Aspang (mit Leukophyllit-Referenzanalytik aus HUBER, 1994).

PROB-NR	PROB_ART	Ba ppm	Co ppm	Cr ppm	Cs ppm	Cu ppm	Li ppm	Ni ppm	Pb ppm	Rb ppm	Sb ppm	Sr ppm	Th ppm
151061001	Schlicker	381	10	< 1	26	22		40	6	312	2	154	6
151061001-1	Schlicker-SM	417,7	269,4	10,0	2,1		5,4	194,0	93,5	14,2	13,5	1817,5	80,4
151061002	Sand 0-6 mm	261	8	8	16	30		26	7	176	2	240	3
ASP3 Aspang	Leukophyllit	60	2	7	18	5	7,5	5	2	220	0,5	1	5
ASP 6+7	Semmeringquarzit	330	2	36	7	2	1	5	5,9	83	1,4	2	3
ASP 16	Porphyroid	392	9	36	6	22	1,7	13	14,9	121	1,9	21	8

PROB-NR	PROB_ART	U ppm	Zn ppm	Zr ppm	La ppm	Ce ppm	Nd ppm	Eu ppm	Lu ppm	Sm ppm	Tb ppm	Y ppm	Yb ppm
151061001	Schlicker	21	26	230	29	56	24					67	
151061001-1	Schlicker-SM	36,7			167,4	396,8	193,5	6,8	0,9	48,6	5,8	104,6	7,1
151061002	Sand 0-6 mm	19	19	110	16	24	13					24	
ASP3 Aspang	Leukophyllit	15,5	12		8	18	8	0,1	0,3	1,8	0,5		2,1
ASP 6+7	Semmeringquarzit	0,5	2		16	26	10	0,5	0,1	1,5	0,3		0,7
ASP 16	Porphyroid	10	8		14	31	17	0,7	0,5	4,6	0,8		3,6

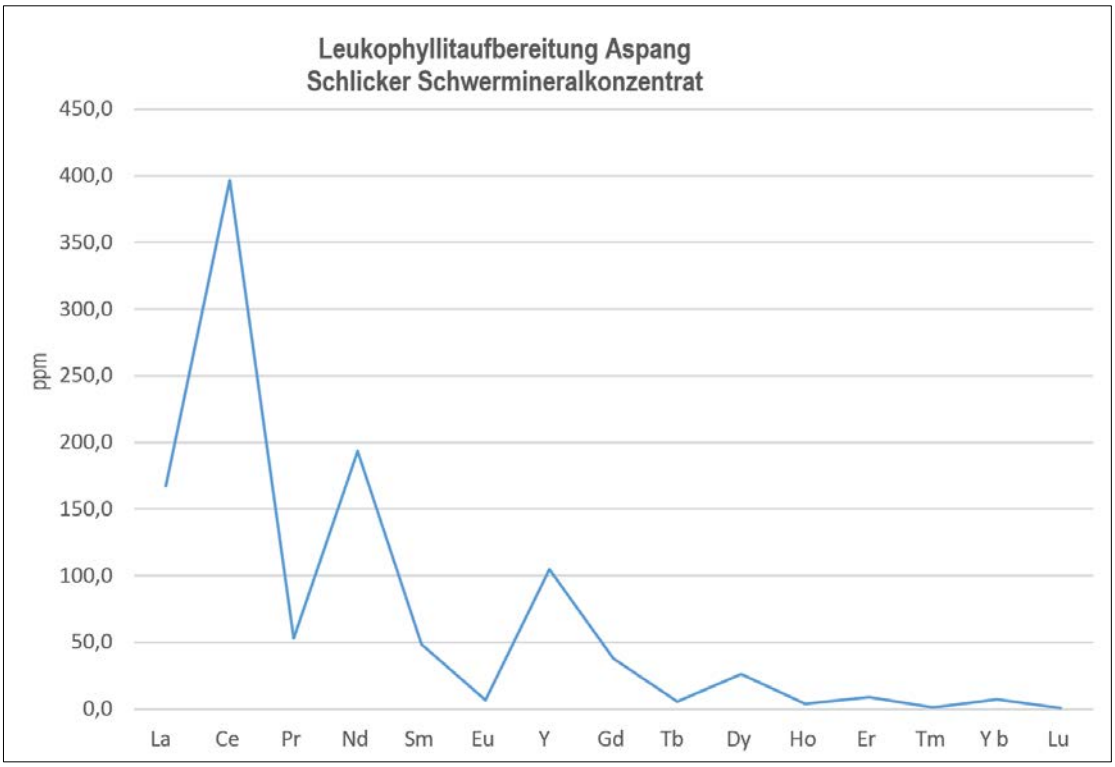


Abb. 37: SEE-Verteilung in der Schwermineralfraktion von Schlickerproben aus der Leukophyllitaufbereitung in Aspang.

Von der Schwermineralprobe 1500012 (SM-Konzentrate der Probe 151061001) liegt eine ausführliche Untersuchung des Mineralbestandes und mikrochemische Untersuchung von SEE-Trägermineralphasen vor (siehe Anhang).

Bezogen auf die Gesamtsiebfraktion (<0,7 mm) dominieren bei den SEE-Trägerphasen Rutil, Apatit, Zirkon, Monazit und geringfügig Xenotim. Zirkon und Monazit sind in der Feinfraktion < 0,063 mm deutlich angereichert.

Vorrangiges SEE-Trägermineral ist Monazit (Ce_2O_3 bis 35,1 %, La_2O_3 bis 22,9 %, Nd_2O_3 bis 22,4 %, Pr_2O_3 bis 3,1 %). ThO_2-Gehalte im Monazit schwanken zwischen 1,2 % und 10,3 %. Der Anteil von Xenotim als weiteres wichtiges SEE-Trägermineral liegt hingegen bei 1,2 %. Apatit mit rund 7,5 % Anteil an der Fraktion <0,7 mm hat ebenfalls in Spuren SEE im Gitter eingebaut (Ce_2O_3 bis 0,08 %, La_2O_3 bis 0,22 %, Nd_2O_3 bis 0,06 %, Y_2O_3 bis 0,14 %). Zirkon als Hauptträgermineral für Hafnium (bis zu 1,5 % HfO_2) enthält ebenfalls in geringeren Mengen SEE (Y_2O_3 bis 0,3 %, Ce_2O_3 bis 0,06 %).

Rutil figuriert vor allem als wichtigste Trägerphase für Nb und Ta. Die maximalen Nb-Gehalte der Rutile im Schlickermaterial liegen bei 0,4 % Nb_2O_3. Die Ta_2O_5-Gehalte erreichen hingegen maximal 0,05 %. Bemerkenswert hoch ist WO_3-Gehalt mit bis zu 0,68 %.

Die am häufigsten auftretenden Schwermineralphasen <0,063 mm (56 %) sind Sulfide (Pyrit, Chalcopyrit, Tennantit), die aber mikrochemisch nicht weiter untersucht wurden.

4.4.1 Bewertung des Potenzials

Auf Basis einer Einzelprobenuntersuchung sind seriöse Abschätzungen des Schlickermaterials im Hinblick auf das Rohstoffpotenzial noch nicht möglich. Angesichts der geringen Schwermineralführung im Schlickermaterial und den darin enthaltenen geringen SEE-Gehalten muss von einem eher geringen SEE-Rohstoffpotenzial ausgegangen werden. Bei derzeit rund 3,5 Mio. t Schlicker in den Schlickerteichen sind das bei dem festgestellten durchschnittlichen Schwermineralanteil von 0,17 % rund 6.000 t Schwerminerale im Deponiebereich der Teiche. Bei 1063 ppm SEE-Gesamtgehalten ergibt dies ein grob angeschätztes Gesamtpotenzial von lediglich 6,4 t SEE. Der jährliche Zuwachs an Schwermineralphasen im Schlickerteich bewegt sich in einer Größenordnung von 15-20 t. Eine wirtschaftliche Nutzung dieses deponierten und aktuell anfallenden SEE-Potenzials erscheint daher nicht realistisch, wenn überhaupt nur unter Berücksichtigung anderer Wertstoffkomponenten/Schwermineralphasen im Schlickermaterial. Ein wesentlicher Störfaktor für das SEE-Potenzial ist zudem der hohe Thorium-Gehalt (ThO_2 bis über 10 %) in der SEE-Hauptträgerphase Monazit. Mengenmäßig dürften die Sulfide den Schwermineralanteil im Schlicker dominieren. Eine vertiefende Spurenelementanalytik dieser Phasen wäre für weitere Nutzungsoptionen erforderlich.

4.5 Spurenelementchemismus ausgewählter Grafitproben aus dem Drosendorf-Deckensystem (Bunte Serie)

Im Zuge der Neubearbeitung der GBA-Lagerstättensammlung in einem modernen Datenbank-gestützten Dokumentationssystem wurde gezielt historisches Probenmaterial von Grafiten aus dem Bereich der Bunten Serie für Spurenelementanalytik ausgewählt, um die noch immer bestehenden Informationslücken hinsichtlich geochemischer Daten zu schließen. Im Mittelpunkt dieser Untersuchungen stand aber nicht Grafit als kritischer Rohstoff, sondern Spurenelemente, die eventuell in den Grafiten angereichert auftreten und die im Zuge von Aufbereitungsprozessen (Dichtesortierung, Flotation) in den Rückständen zu erwarten sind.

Die Aufbereitung der Waldviertler Grafite und Herstellung von sogenannten Raffinadegrafits erfolgte mittels Mahl- und Schlämmanlagen und zum Teil auch mittels Flotationsanlagen. Die Grafite der Bunten Serie wurden wegen der aufwendigen Aufbereitung meist aber in Form von Rohgrafit als Hochofenzuschlag (Gießereigrafit) verwendet. Durch die feine Verwachsung mit Pyrit sind nur äußert gute Lagerstättenpartien für Spezialanwendungen, wie für die Erzeugung von Elektroden oder Farbstoffen, tauglich.

Die Grafite des Drosendorf-Deckensystems (Bunte Serie) werden als Produkt einer metamorphen Überprägung von Sapropelen erklärt. Diese entstanden als Folge einer markanten Änderung der Normalsedimentation unter Mitwirkung eines basischen submarinen Vulkanismus, der die entsprechenden Bedingungen für ein euxinisches Milieu schuf, aber auch schwermetallhältige hydrothermale Lösungen anlieferte (WEBER et al., 1997). Die häufige Assoziation der Grafite mit Marmor deutet auf die Genese in kleinen, sapropelitischen Becken auf einer küstennahen Karbonatplattform hin (MÜLLER, 2016).

Der Grafit tritt mikroskopisch als Flinz- und Kugelgrafit auf. Die Korngrößen der Flinze liegen zwischen 20 und 60 µm (PICHLHÖFER, 1985). Die Grafite zeigen eine enge Verwachsung mit Quarz, Feldspat, Tremolit und Glimmermineralen. Nebengemengteile sind Diopsid, Rutil, Titanit, Turmalin, Apatit, Monazit, Xenotim und z.T. Korund. Verwachsungsphasen und Nebengemengteile machen auch den überwiegenden Teil der Aufbereitungsrückstände aus.

Die Gesamtzusammensetzung der Grafitgneise gleicht der von durchschnittlichen Schwarzschiefern, die nicht mit Metallen angereichert sind (SCHRAUDER, 1991; WAGNER, 2009; MÜLLER, 2016). Chondritnormierte SEE-Verteilungsmuster der graphitführenden Gesteine widerspiegeln pelitische Sedimente als Ausgangssedimente. Aufgrund der Zusammensetzung der C-Isotope der Grafite aus den Grafitgneisen

kann eindeutig auf einen organogenen Ursprung der Grafite geschlossen werden (SCHRAUDER et al., 1993). Der geringe Gesamt-S-Gehalt ist Hinweis auf die Ablagerung in einem vorwiegend oxischen, nährstoffreichen Milieu mit kurzen euxinischen Phasen (Bildung der Pyrit-Lagen) (MÜLLER, 2016). Im Gegensatz zu den Grafiten der Grauwackenzone sind die Grafite der Bunten Serie reich an sedimentogenen Beimengungen sowie an Sulfiden (Pyrit, Pyrrothin). Örtliche Anreicherungen von Buntmetallmineralisationen werden aber auch als Folge gleichzeitiger hydrothermaler Aktivitäten interpretiert (WEBER et al., 1997).

Aus den neuanalysierten Grafitproben und in den aus der aktuellen Literatur zusammengestellten Spurenelementanalysen geht hervor, dass zum Teil relativ große Unterschiede in den Elementverteilungen auftreten können und auch keine einheitlichen Trends bei der Spurenelementverteilung erkennbar sind (Tab. 12/1 und 12/2). Die Bildungsbedingungen für die Grafite in der Bunten Serie basieren auf einem komplexen chemischen System mit teilweise sehr unterschiedlichen geochemischen Fazien und offensichtlich breitgestreuten Redoxbedingungen.

Die SEE weisen teilweise sehr große Unterschiede auf, die Gesamtgehalte variieren zwischen 110 und 393 ppm, wobei die leichten SEE Ce und La deutlich angereichert, die schweren SEE aber durchwegs abgereichert sind. Trägerminerale sind insbesondere Apatit, Monazit, Rutil, Xenotim und Zirkon. Der gemessene Höchstgesamtgehalt stammt von einer Grafitprobe aus einer aktuellen Untersuchung der Grafitlagerstätte Zettlitz (MÜLLER, 2016). Die SEE-Gehalte liegen im Schwankungsbereich neogener Sand- und Tonvorkommen in Österreich. Eine Anreicherung der SEE ist lediglich im Zuge der Aufbereitung (Flotation) der Grafite zu erwarten. Aus früheren mineralogischen Untersuchungen von Flotationsabgängen aus der Grafitaufbereitung in Mühlbach gibt es jedoch keine Hinweise auf einen erhöhten Schwermineralanteil von SEE-Trägermineralen (RICHTER, 1965).

Der Kohlenstoffgehalt der untersuchten Grafite liegt etwa zwischen 30 % und 63 %, der S-Gehalt zwischen 0,02 und 9,43 %. Die Grafite mit S-Gehalten > 8 % zeigen deutliche Sulfidführung bis zu massig ausgebildeten Pyrit-Lagen (z.B. Weinberg Lager I).

Grafitführende Metamorphite sind gegenüber dem Durchschnitt pelitischer Sedimente deutlich an den Elementen C, S, Co, Ni, Se, V, Mo und Cu angereichert, die hier vor allem an das organogene Material gebunden sind. Die Verteilung dieser Elemente zeigt in den zur Verfügung stehenden Daten aus der Bunten Serie kein einheitliches Bild. Eine überdurchschnittliche Anreicherung dieser Elemente konnte weder in den untersuchten Grafitproben noch in den Analysen aus der aktuelleren Literatur beobachtet werden. V, Mo liegen meist in den Grafiten höher als in durchschnittlichen Peliten, Co nur zum Teil und Cr liegt in allen Proben unter den Durchschnittsgehalten von Peliten.

Ein interessantes Marker-Element der Grafite in der Bunten Serie ist Bor, das hier an das relativ häufig auftretende Borsilikat Turmalin gebunden und teilweise deutlich gegenüber dem Durchschnitt von pelitischen Sedimenten angereichert ist. Bor als Indikatorelement für Grafitvorkommen hat sich auch bei der Testanalytik für die Bachsedimentgeochemie im Bereich der Böhmischen Masse als durchaus geeignete Prospektionsmethode für die Grafite der Bunten Serie ergeben. Für Bor wird ebenfalls hydrothermale Zufuhr vermutet (WEBEER et al., 1997).

In den aktuell untersuchten Grafiten gibt es keine Indikationen für eine signifikante Erhöhung anderer kritischer Rohstoffelemente (Tab. 12/1 und 12/2, Abb. 38 bis 40). Das betrifft auch die sulfidreicheren Varietäten, bei denen lediglich Co, Ni, As und Cr leicht erhöht sind. In den sulfidreicheren Partien ist Pyrit die klar dominierende Erzphase. Pyrit selbst tritt kluftförmig, z.T. aber auch feindispers verteilt auf. Im Gitter wird Pyrit in geringen Mengen von Co, Ni und As substituiert (WAGNER, 2009; MÜLLER, 2016).

Deren Gehalt korreliert sehr gut mit dem jeweiligen Pyrit-Anteil. Bei den verschiedenen Arten des auftretenden Pyrits dürfte es sich um unterschiedliche Generationen handeln (WAGNER, 2009). Auf eine mehrphasige Mineralbildung deuten auch die teilweise auftretenden Verwachsungen zwischen Pyrit und Markasit hin.

Pyrrothin und Chalkopyrit sind häufige Begleitphasen, insbesondere in unmittelbarer Nähe massiger Pyritlagen. Eine weitere in vielen Proben festgestellte Erzphase ist Markasit. Markasit findet sich teils verwachsen mit Pyrit, teils im unmittelbareren Nahbereich (WAGNER, 2009). Er ist im Gegensatz zum Pyrit jedoch meist feinkörnig.

Seltene, doch bis dato wenig untersuchte Begleiter sind W-Vererzungen in Form von Wolframit (Zettlitz, MÜLLER, 2016) und Scheelit (Weinberg, aktuelle begleitende mineralogische Untersuchungen, NEINAVAIE, mündl. Mitteilung).

Über die Nb-Gehalte in den Rutilen ist relativ wenig bekannt. In aktuellen Untersuchungen an Rutilen der Grafitlagerstätte Zettlitz wurden Nb_20_5-Maximalgehalte von 0,19 % gemessen (MÜLLER, 2016). Rutil spielt aber im Schwermineralspektrum der Grafite eine untergeordnete Rolle.

4.5.1 Bewertung der Potenziale

Aus den bisher bekannten Untersuchungsergebnissen an Grafiten der Bunten Serie lassen sich außer dem kritischen Rohstoff Grafit keine wirtschaftlich interessanten Anreicherungen von anderen kritischen Rohstoffelementen erkennen. Diese liegen durchwegs mit sehr geringen Gesamtgehalten in den Grafiten vor. SEE-Trägerminerale könnten aber - ebenso wie bei der Aufbereitung der Quarzsande - in den Flotationsabgängen bei der Grafitaufbereitung in konzentrierter Form anfallen und wären hier ein in geringen Mengen auftretendes Beiprodukt der Grafitgewinnung mit begrenzten Verwertungsmöglichkeiten.

Bezeichnung	Zettlitz 07/2001-1001	Zettlitz 07/2001-1002	Autendorf 08/2003-1001	Ober Thumeritz 08/2005a-1001	Doppl 036/2004-1001	Schneeberg 036/2008-1001	Elsenreith 036/2011-1001	Straßreith 036/2020-1001	Pöbring 036/2025-1001	Rottenhof 054/2005-1001	Weinberg Lager I 3620131001	Weinberg Lager I 3620131002
As	7,4	27,4	21,2	0,9	5,7	2,4	1,4	1,0	2,5	0,9	< 1	25
B												
Ba	476,3	196,5	134,3	79,7	187,4	69,2	89,0	454,8	290,3	181,7	16	13
Be	< 0,5	2,00	0,80	0,84	< 0,5	0,82	1,70	1,44	1,31	2,13		
Bi	< 0,5	< 0,5	0,14	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,65	< 0,5	< 0,5		
Ce	28,3	25,8	30,9	17,3	42,4	18,6	51,1	25,4	5,6	107,6	50	88
Co	1,4	62,9	0,8	1,8	< 0,5	1,0	1,8	5,1	< 0,5	71,2	4	39
Cr	35,5	27,4	15,2	15,4	17,5	24,3	83,1	50,2	21,9	75,4	< 1	99
Cs	< 0,5	0,82	< 0,5	< 0,5	0,64	< 0,5	0,89	1,25	0,64	2,79	8	5
Cu											31	20
Ga	8,2	9,9	7,6	5,1	5,0	6,0	15,6	14,4	6,1	14,5		
Ge	1,5	1,1	1,0	< 0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,7		
Hf	9,3	2,5	3,8	1,2	4,3	1,5	5,3	3,1	2,6	2,4		
La	15,4	11,4	17,4	10,5	29,5	14,3	26,4	16,2	3,5	58,4	30	48
Li	1,2	1,9	0,7	2,1	1,4	1,1	4,2	10,9	1,9	20,5		
Mo	14,0	7,9	15,6	3,8	8,9	2,4	11,2	6,0	2,9	0,5		
Nb											20	18
Nd											23	32
Ni	2,9	71,6	4,9	32,5	1,6	3,6	4,1	13,2	1,8	226,9	55	105
Pb	3,1	4,4	2,1	3,4	2,3	9,1	2,7	9,2	1,2	12,5	6	5
Rb	51,8	50,6	6,7	27,9	41,5	2,2	42,2	73,9	54,2	69,2	54	21
Sc	0,8	< 0,5	0,7	2,1	1,7	0,8	0,9	1,1	1,2	2,2		
Sn	1,0	1,1	0,7	0,7	0,8	< 0,5	1,0	1,3	0,7	0,8		
Sr	32,3	74,2	122,0	101,4	38,3	77,2	15,2	63,9	9,0	59,4	176	79
U	2,5	2,8	1,8	1,8	3,8	2,4	16,8	4,4	0,7	5,3	18	9
V	266,2	104	70	50	94	164	384	303	78	173	76	197
W	2,7	2,7	4,4	< 0,5	1,6	1,8	4,3	2,2	1,4	< 0,5		
Y											74	79
Zn											6	2
Zr	217,5	55,0	90,6	26,4	99,1	32,3	133,0	70,8	60,3	49,3	187	133
C %	37,77	40,7	44,47	30,04	45,29	52,81	31,07	32,72	63,02	34,02	33	39
S %	0,53	8,12	0,75	0,02	0,23	0,11	0,09	0,06	0,06	9,43	1,1	8,2

Tab. 12/1: Spurenelementchemismus in ausgewählten Grafitproben der Bunten Serie ([1] WAGNER, 2009; [2] MÜLLER, 2016).

Bezeichnung	Weinberg[1]	Amstall SE 2[1]	Mühldorf 2[1]	Trenning 2[1]	Zettlitz 2[1]	Hengst-berg 2[1]	Loja 2[1]	Zettlitz 1[1]	Zettlitz 1[1]	Elsen-reith 3[1]	ZE 04.2[2]	ZE 07.1[2]	ZE 10.1[2]	ZE 13.3[2]	ZE 29.1[2]
As	5,7	5,4	3,7	3,2	3,8	5,2	3	20	8	29	37,3	3,9	4,2	5,3	0
B	205	80	7	22	745	43	5	7							
Ba	185	39	134	473	359	244	806				195	384	220	687	370
Be								0,3			0,3	1,2	0,5	1,9	0,7
Bi															
Ce											34,1	144	49,5	128,1	36,2
Co	25	241	2	13	14	6	49	10	10	29	2,1	1,6	1,2	5,2	3
Cr	61	50	16	48	33	32	50	80	63	76	4	79	64	31	39
Cs											0,2	0,5	0,6	1,3	1,7
Cu	19	94	13	43	20	57	155	0,7	16	40	3	0	12	36	2,1
Ga	12	18	7	14	9	18	13	7	16		3,3	16,7	8,7	12,2	10,3
Ge	0,7	1,5	0,6	0,8	0,8	1,5	0,4	10							
Hf											0,7	4,5	1,4	3,8	1,6
La											15,5	72,7	24,5	65,9	18,3
Li	8,3	1	1,7	3,4	0,5	8,1	51,4				0,4	0,4	2,2	0,8	3,3
Mo	11	13,2	10,4	4,9	6,6	1,8	12,9	8	13	23	2,2	5,6	3,1	4,1	0,1
Nb											0,2	16,8	3,9	7,5	5,2
Nd											13,7	56,5	18,7	49,9	14,8
Ni	67	85	7	9	33	23	218	10	38	134	2	1,5	0,9	4,5	3,8
Pb	4,5	6,2	1,1	4,4	3,1	4,8	14,4	7			0	3,9	0	0,3	4,6
Rb	27	12	24	92	72	44	70				28	76	77	163	62
Sc											3,6	6,9	8,7	4,3	14
Sn											2	2	2	2	2
Sr	35	64	44	76	69	102	99				79	80	52	154	761
U	2	4,3	0,3	1,2	1	6,5	1,8				4,5	9,9	3,6	5,7	3,1
V	198	123	50	175	84	86	143	350	207	257	23	330	190	150	169
W											0	0,6	0,1	0,3	1,3
Y											38,9	56,8	11,4	47,3	15,8
Zn	8,6	3,6	4,6	3,5	14,1	22,1	18,9	1	4	10	0,4	0	0	0	6,5
Zr	57	139	42	68	58	126	59	150	212		25	161	45	137	66
C %	48,97	15,99	64,78	38,64	44,63	22,3	52,3								

Tab. 12/2: Spurenelementchemismus in ausgewählten Grafitproben der Bunten Serie ([1] WAGNER, 2009; [2] MÜLLER, 2016).

Ü

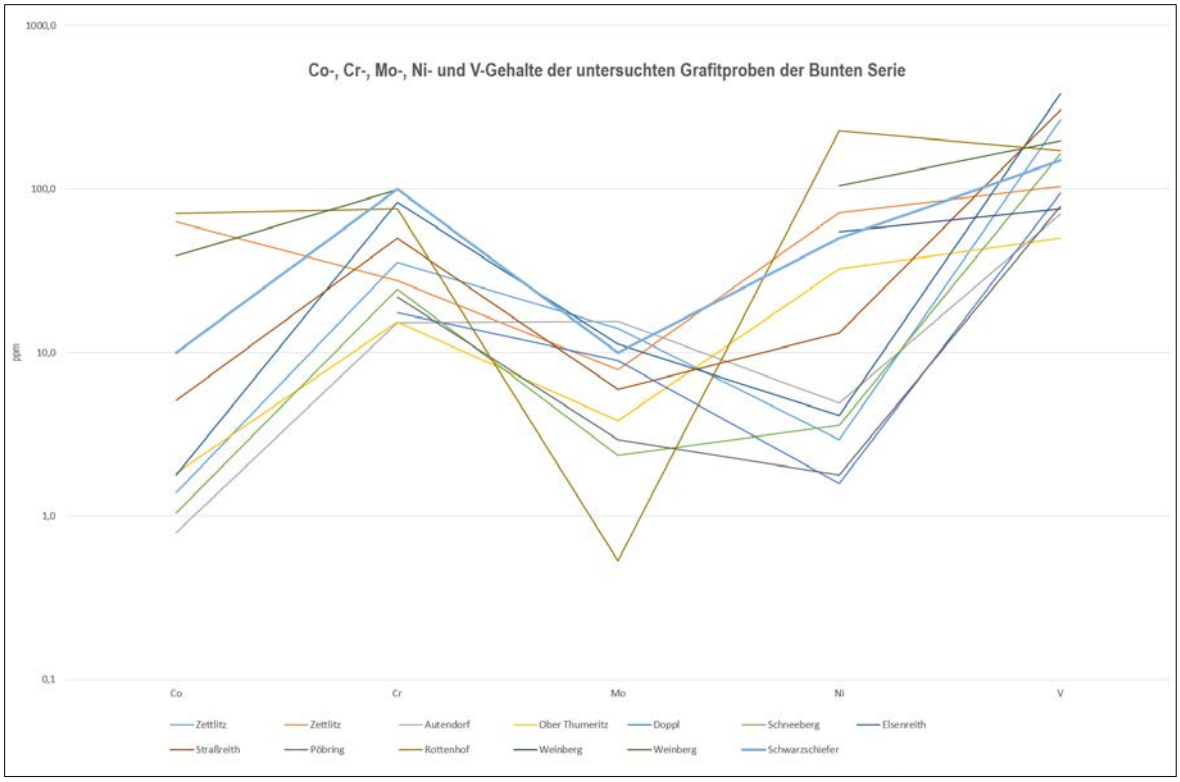


Abb. 38: Co-, Cr-, Mo-, Ni- und V-Gehalte der untersuchten Grafite der Bunten Serie (im Vergleich mit Durchschnittsgehalten von Schwarzschiefern nach VINE & TOURTELOT, 1970).

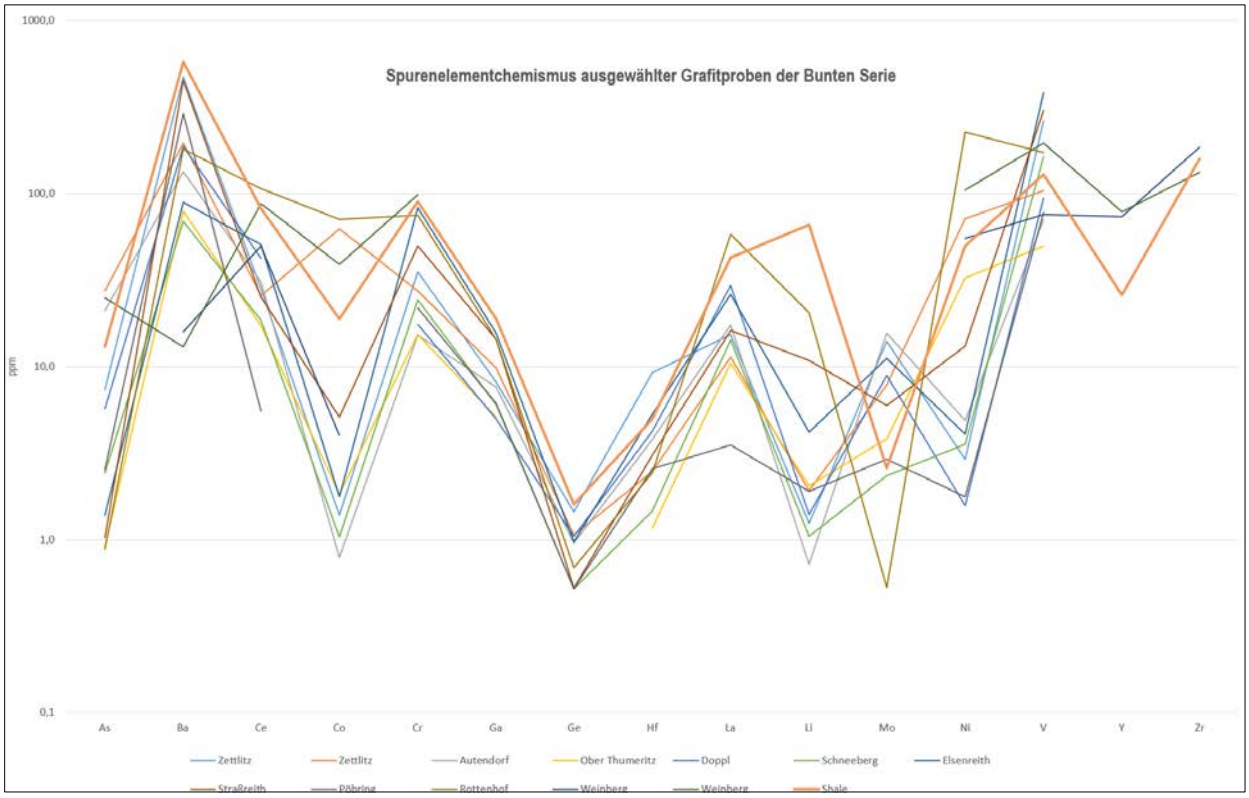


Abb. 39: Spurenelementchemismus der untersuchten Grafite der Bunten Serie (im Vergleich mit Durchschnittsgehalten von Tonschiefern nach QUINBY-HUNT et al., 1989).

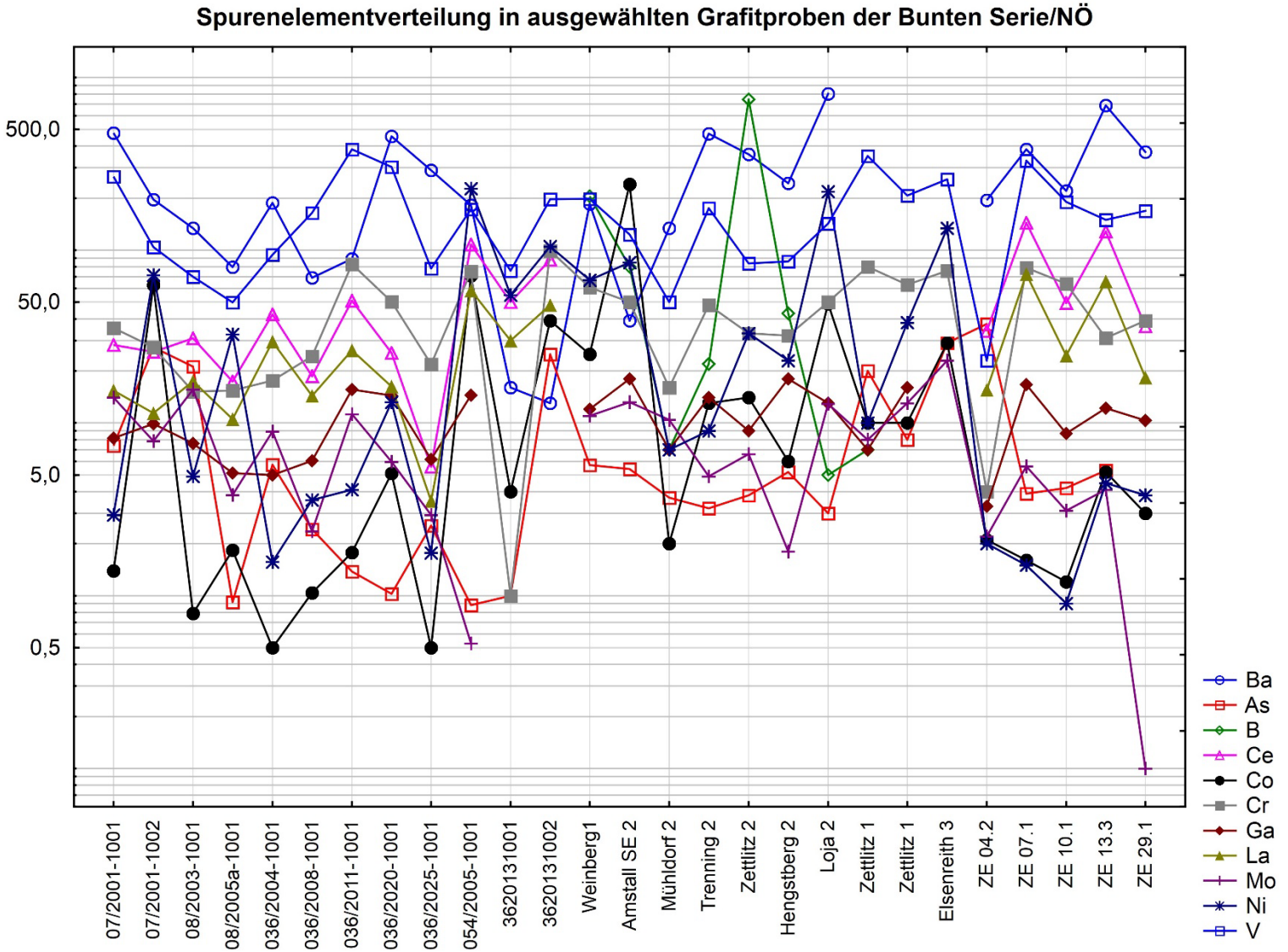


Abb. 40: Spurenelementgehalte ausgewählter Grafitproben aus der Bunten Serie (GBA, 2016; WAGNER, 2009; MÜLLER, 2016).

5. Literatur

5.1 Kritische Rohstoffe - Allgemein (Auswahlbibliographie)

ABRAHAM, D. S.: The elements of power: gadgets, guns, and the struggle for a sustainable future in the Rare Metal Age / David S. Abraham . - XIV, 319 S., Yale Univ. Press, New Haven, 2015.

ABZALOV, M. (Guest Ed.): Mineral resource estimation. - Applied Earth Science; 123.2, S. 69-145, Maney Publishing, London, 2014.

ADAMAS INTELLIGENCE: Rare Earth Market Outlook: Supply, Demand, and Pricing from 2014 – 2020. – 564 S., Sudbury, 2014.

AD-HOC-AG ROHSTOFFE: Seltene-Erden-Rohstoffe in Deutschland. - 8 S., Hannover, 2010.

ALF, O.: Rückgewinnung ausgewählter kritischer Rohstoffe aus einem hydrometallurgischen Magnet-Recyclingprozess. – Unveröff. Masterarb. Montanuniversität Leoben, 97 S., Leoben, 2015.

AMMANN, L.: Cation exchange and adsorption on clays and clay minerals. – Unveröffentl. Diss., Univ. Kiel, 114 S., Kiel, 2003.

ANGERER, G., ERDMANN, L., MARSCHEIDER-WEIDEMANN, F., SCHARP, M., LÜLLMANN, A., HANDKE, V. & MARWEDE, M.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage.- Fraunhofer IRB Verlag, 401 S., Stuttgart, 2009.

ANNERL, K.: Seltene Erden - Unveröff. Dipl.-Arb., Kapfenberg, Fachhochschule Joanneum, XXIX, 79 S.+ 1 CD, Kapfenberg, 2013.

ANSTETT, T. F.: International strategic minerals inventory summary report. - Lithium. - US Geological Survey circular. 930-I, 28 S., Washington, 1990.

ATWOOD, D. A. (ed.): The rare earth elements: fundamentals and applications. - XIV, 606 S., Wiley, Chichester, 2012.

BARTON, W. J.: Columbium and Tantalum: A Materials Survey. - U.S. Bureau of Mines Information Circular, Nr. 8120, 110 S., 24 Abb., 51 Tab., Washington, 1962.

BAUTISTA, R. G. (ed.): Rare earths: resources, science, technology and applications (Symposium on Rare Earths 1992, San Diego). - TMS, 466 S., Warrendale, 1992.

BAUTISTA, R. G. (ed.): Rare earths: science, technology and applications III (Symposium on Rare Earths 3, 1997, Orlando, Florida). - TMS, 275 S., Warrendale, 1997.

BERGMANN, H. (ed.): Gmelin handbook of inorganic and organometallic chemistry. Compounds with Boron. - Bd. 39 Sc=Scandium, Y=Yttrium, La-Lu rare earth elements | Part C | 11b. - Springer-Verlag, 496 S., Berlin, 1991.

BERGMANN, H. (ed.): Gmelin handbook of inorganic and organometallic chemistry. Compounds with Carbon. - Bd. 39 Rare earth elements | Part C | 12b- Springer-Verlag, 362 S., Berlin, 1994.

BERGMANN, H. (ed.): Gmelin handbook of inorganic and organometallic chemistry. Compounds with Carbon. - Bd. 39 Rare earth elements | Part C | 12a- Springer-Verlag, 459 S., Berlin, 1995.

BLEIWAS, D. I. & GAMBOGI, J.: Preliminary estimates of the quantities of rare-earth elements contained in selected products and in imports of semimanufactured products to the United States, 2010. - Open-file report / U.S. Geological Survey; 2013,1072, U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, 2013. - Online-Ressource. http://pubs.usgs.gov/of/2013/1072/

BMWFJ: Österreichisches Montan-Handbuch 2011. Bergbau, Rohstoffe, Grundstoffe, Energie. – 311 S., Wien, 2012.

BOCK, R.: Die Trennung der Seltenerdelemente und anderer Gemische: in memoriam Werner Fischer 1902-2001 – 95 S., Principal-Verl., Münster, 2004.

BORCHERT, H.: Neuere geochemische Untersuchungen von Blei und Zink in lagerstättenkundlicher Sicht. - Z. deutsch. Geol. Ges., 110, S. 450-473, Hannover, 1959.

BOUSEK, B.: Urban Mining: Analysis and outlook of current trends with focus on rare earth elements in the European Union. Unveröff. Masterarb., FH Campus Wien, Masterstudiengang Technisches Management, VI, 84 S., Wien, 2014.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY: Rare Earth Elements. – 53 S., British Geological Survey, 2011. Online-Ressource https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=163

BROWN, T. & PITFIELD, P.: Tungsten. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 385-413, 12 Abb., 4 Tab. BGS, Wiley, Chichester, 2014.

BRÜNING, Ch.: Seltene Erden: der wichtigste Rohstoff des 21. Jahrhunderts. - 263 S., Börsenbuchverl., Kulmbach, 2011.

BRÜNING, Ch.: Seltene Erden: der wichtigste Rohstoff des 21. Jahrhunderts: [wie Sie als Anleger nachhaltig profitieren] - 2., aktualisierte und überarb. Aufl. – 249 S., Börsenbuchverl., Kulmbach, 2013.

BUCHERT, M., SCHÜLER, D. & BLEHER, D.: Critical Metals for future sustainable technologies and their recycling potential. - Öko-Institut, 81 S., Darmstadt, 2009.

BURT, D. M.: Compositional and phase relations among rare earth element minerals. - In: LIPIN, B. R. & McKAY, G. A. (ed.): Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. - Reviews in Mineralogy, 21, S. 259-307, Washington, 1989.

BUTCHER, T. & BROWN, T.: Gallium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 150-176, 8 Abb., 6 Tab. BGS, Wiley, Chichester, 2014.

CASTOR, S. B. & HEDRICK, J. B.: Rare Earth Elements. - In: KOGEL, J. E. et al. (eds.): *Industrial Minerals and Rocks:* Commodities, Markets, and Uses, *S.* 769-792, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, 2006.

CERNY, P.: Characteristics of pegmatite deposits of tantalum. – In: MÖLLER, P., CERNY, P. & SAUPE, F. (ed.): Lanthanides, tantalum and niobium: mineralogy, geochemistry, characteristics of primary ore deposits, prospecting, processing and applications: proceedings of a workshop in Berlin, November 1986. - Special Publication of the Society for Geology applied to Mineral Deposits, 7, S. 195-239, Berlin, 1989.

CERNY, P.: Regional zoning of pegmatite populations and its interpretation / Petr Cerny. - In: MinPet 92: Tagung der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft Stainz, 27. September bis 2. Oktober 1992: Kubiena-Symposium (1992). - Mitt. Österr. Min. Ges., 137, S. 99-107, Wien, 1992.

CERNY, P.: Petrogenesis of rare-element granitic pegmatites: Evidence available and missing links / P. Cerny. - In: Pre-Alpine Crust in Austria: Final Conference of the National Research Project S 47 - GEO held from April 6th to 10th 1994 in Krems, Lower Austria (1994). - Mitt. Österr. Min. Ges., 139, S.282-284, Wien, 1994.

CERNY, P. & ERCIT, T. S.: Mineralogy of niobium and tantalum: Crystall chemical relationships, paragenetic aspects and their economic implications. – In: MÖLLER, P., CERNY, P. & SAUPE, F. (ed.): Lanthanides, tantalum and niobium: mineralogy, geochemistry, characteristics of primary ore deposits, prospecting, processing and applications: proceedings of a workshop in Berlin, November 1986. - Special Publication of the Society for Geology applied to Mineral Deposits, 7, S. 27-79, Berlin, 1989.

CESBRON, F. P.: Mineralogy of the Rare Earth Elements. – In: MÖLLER, P. et al. (eds.): Lanthanides, tantalum and niobium: mineralogy, geochemistry, characteristics of primary ore deposits, prospecting, processing and applications: proceedings of a workshop in Berlin, November 1986. - Special Publication of the Society for Geology applied to Mineral Deposits, 7, S. 3-26, Berlin, 1989.

CHAKHMOURADIAN, A. & WALL, F. (Guest Ed.): Rare Earth Elements. - Elements ; Nr. 8.5, S. 333-376, Richmond Hill, 2012.

CLARK, A. M.: Mineralogy of the rare earth element. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 33-61, Amsterdam, 1984.

COTTON, S.: Lanthanide and actinide chemistry. - XIV, 263 S., Wiley & Sons, Chichester, 2006.

CROCKETT, R. N., CHAPMAN, G. R. & FORREST, M. D.: International strategic minerals inventory summary report. - Cobalt. - US Geological Survey circular. 930-F, 54 S., Washington, 1987.

CROCKETT, R. N. & SUTHPIN, D. M.: International strategic minerals inventory summary report. - Niobium (Columbium) and Tantalum. - US Geological Survey circular, 930-M, 36 S., Washington, 1993.

CULLERS, R. L. & GRAF, J. L.: Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rocks, ore petrogenesis. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 275-316, Amsterdam, 1984.

CULLERS, R. L. & GRAF, J. L.: Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominantly basic and ultrabasic rocks. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 237-274, Amsterdam, 1984.

DE VOS, W. & TARVAINEN, T. [Eds.]: Geochemical Atlas of Europe. Part 2: Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Firgures, Maps, and Related Publications. – Geological Survey of Finland, 690 S., ill., Espoo, 2006.

DEUTSCHE ROHSTOFFAGENTUR: DERA-Rohstoffliste 2012: Angebotskonzentration bei Metallen und Industrieminerale – Potenzielle Preis- und Lieferrisiken. - DERA Rohstoffinformationen 10, 46 S., Berlin, 2012.

DELFREY, K. N. (ed.): Rare earths : research and applications. - XIII, 425 S., Nova Science, New York, 2008.

DOBELLE, H. H.: Conditionalities and hypocrisy with a smile: American and Chinese resource competition over rare and semi-rare earths and minerals in Africa. – Unveröff. Masterarb., Diplom. Akademie, 83 S, Wien, 2011.

ERDMANN, L., BEHRENDT, S. & FEIL, M.: Kritische Rohstoffe für Deutschland. - IZT, adelphi 134 S., Berlin, 2011.

ELSNER, H.: Bewertungskriterien für Industrieminerale, Steine und Erden. Teil 13: Schwerminerale. - Geol. Jb., Reihe H, H. 13, 143 S., Hannover, 2006.

ELSNER, H., MELCHER, F., SCHWARZ-SCHAMPERA, U. & BUCHHOLZ, P.: Elektronikmetalle – zukünftig steigender Bedarf bei unzureichender Versorgungslage?- BGR, Commodity Top News Nr. 33, 13 S., Hannover, 2010.

ELSNER, H.: Heavy minerals of economic importance. - BGR, Assessment Manual, 218 S., 31 Abb., 125 Tab., Hannover, 2010.

ELSNER, H.: Kritische Versorgungslage mit schweren Seltene Erden – Entwicklung „Grüner Technologien" gefährdet?- BGR, Commodity Top News Nr. 36, 8 S., Hannover, 2011.

ESPA, I.: Export restrictions on critical minerals and metals: testing the adequacy of WTO disciplines. - xxiii, 379 S., Cambridge University Press, Cambridge 2015.

EUROPEAN COMMISSION: The Raw Materials Initiative - Meeting our Critical Needs for Growth and Jobs in Europe. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council COM (2008) 699. - Office for Official Publications of the European Communities, 13 S., Luxembourg, 2008a.

EUROPÄISCHE KOMMISSION: Die Rohstoffinitiative – Sicherung der Versorgung Europas mit den für Wachstum und Beschäftigung notwendigen Gütern. - Mitteilung d. Europäischen Kommission, KOM (2008) 699, 23, S., Luxembourg, 2008b.

EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY: Critical raw materials for the EU. Report of the ad-hoc working group on defining critical raw materials- European Commission, DG Enterprise and Industry, 85 S., Brussels, 2010a.

EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY: Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials- European Commission, DG Enterprise and Industry, 220 S., Brussels, 2010b.

EUROPEAN COMMISSION: Tackling the Challenges in Commodity Markets and on Raw Materials. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Commitees of the Regions. - COM (2011) 25, 23 S., Brussels, 2011a.
EUROPÄISCHE KOMMISSION: Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze. – Mitteilung d. Europäischen Kommission, KOM (2011) 25, 23, S., Brüssel, 2011b.
EUROPÄISCHE KOMMISSION: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen Rohstoffe für das künftige Wohlergehen Europas nutzbar machen. Vorschlag für eine Innovationspartnerschaft für Rohstoffe. - COM (2012) 82, 11 S., Brüssel, 2012.
EUROPÄISCHE KOMMISSION: Bericht der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Umsetzung der Rohstoffinitiative. - COM (2013) 442, 22 S., Brüssel, 2013.
EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY: Report on Critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. - European Commission, DG Enterprise and Industry, 41 S., Brussels, 2014a.
EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY: Annexes to the Report on Critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials. - European Commission, DG Enterprise and Industry, 38 S., Brussels, 2014b.
EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY: Report on Critical raw materials for the EU. Critical Raw Materials Profiles. - European Commission, DG Enterprise and Industry, 202 S., Brussels, 2014c.
EUROPEAN COMMISSION – ENTERPRISE AND INDUSTRY: Report on Critical raw materials for the EU. Non-critical Raw Materials Profiles. - European Commission, DG Enterprise and Industry, 138 S., Brussels, 2014d.
FLEET, A. J.: Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 343-373, Amsterdam, 1984.
FREY, F. A.: Rare earth element abundances in upper mantle rocks. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 153-203, Amsterdam, 1984.
FRAEDRICH, W.: Seltene Erden: einst unbeachtet, heute und in Zukunft unverzichtbar. - Geographie heute, 34, S. 42–47, Seelze-Velber, 2013.
GAFT, M., PANCZER, G., USPENSKY, E. & REISFELD, R.: Laser-induced time resolved luminescence of rare-earth elements in scheelite. – Miner. Mag., 63, S. 199-210, London, 1999.
GAMBOGI, J.: Rare Earths (Advance Relaease). - In: 2011 Minerals Yearbook, USGS, S. 60.1-60.12, Washington, 2013.
GAMBOGI, J.: Rare Earths. - USGS, Mineral Commodity Summaries, S. 134-136, Washington 2016.
GAUPP, R., MÖLLER, P. & MORTEANO, G.: Tantal - Pegmatite, geologische, petrologische und geochemische Untersuchungen. - Monograph series on mineral deposits 23, 124 S., Berlin, 1984.
GDMB: Spurenelemente in Lagerstätten. - Schriftenreihe GDMB, H. 80, 118 S., Clausthal-Zellerfeld, 1997.
GIERE, R.: Formation of rare earth minerals in hydrothermal systems. - In: JONES, A. P., WALL, F. & WILLIAMS, T. C. (ed.): Rare earth minerals. - Chapman & Hall, S. 105-150, London, 1996.
GOLLOCH. A.: Handbook of Rare Earth Elements: Analytics. - XX, 450 S., De Gruyter, Berlin, 2016.
GOONAN, T.G.: Rare earth elements—End use and recyclability: - U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5094, 15 S., U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, 2011. - Online-Ressource http://pubs.usgs.gov/sir/2011/5094/.
GRAEDEL, T.R. & GUNN, G.: Metal resources, use and criticality. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 1-19, 9 Abb., BGS, Wiley, Chichester, 2014.
GRAUCH, R. I.: Rare earth elements in metamorphic rocks. - In: LIPIN, B. R. & McKAY, G. A. (ed.): Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. - Reviews in Mineralogy, 21, S. 147-167, Washington, 1989.
GROJER, K.: Marketingkonzept: seltene Erden der Treibacher Auermet für den japanischen Markt – XV, 100 S., Unveröff. Dipl.-Arb., Graz, Campus 02, FH-Studiengänge der Wirtschaft, Graz, 2002.
GSTETTNER, G.: Alkalischer Schmelzaufschluss von Leuchtstofffraktionen zur Wiedergewinnung Seltener Erden. – Unveröff. Masterarb., Montanuniversität Leoben, 95 S., Leoben, 2015.
GWOSDZ, W., RÖHLING, S. & LORENZ, W.: Bewertungskriterien für Industrieminerale, Steine und Erden. Teil 13: Beryllium-Minerale, Brom, Jod, Graphit, Farberden, Mangan-Minerale und Zeolithe. - Geol. Jb., Reihe H, H. 14, 125 S., Hannover, 2008.
GUNN, G.: Critical Metals Handbook. – 439 S., BGS, Wiley, Chichester, 2014.
GUNN, G.: Platinium-group metals. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 284-311, 10 Abb., 5 Tab. BGS, Wiley, Chichester, 2014.
GÜRS, K.: Gmelin handbook of inorganic and organometallic chemistry. Optical spectra of Ce and Pr. - Bd. 39 Rare earth elements | Part E | 1- Springer-Verlag, 275 S., Berlin, 1993.
HAGELÜKEN, C.: Recycling of critical metals. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 41-60, 12 Abb., BGS, Wiley, Chichester, 2014.

HAUK, P. & ROCKENBAUER, W.: Komplexe Niob-Tantalerze: Teil I: Vorkommen und Analysendaten von Pyrochlor, Mikrolith, Euxenit, Samarskit, Fergusonit, Betafit und Simpsonit. (Literaturüberblick).- Unveröff. Ber. (Bibl. Geol. B.-A.), 23 S., Wien, 1965.

HAUK, P.: Beitrag zur Mineralchemie und instrumentellen Mineralanalyse komplexer Niob-Tantal-Erze.- Unveröff. Diss., Univ. Wien, 1.Bd. 101 S., 2.Bd. 54 S., Wien, 1965.

HAXEL, G.B., HEDRICK, J.B. & ORRIS G.J.: Rare earth elements - critical resources for high technology. - USGS Fact Sheet 087-02. Hoatson DM, 2002.

HENDERSON, P.: General geochemical properties and abundances - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 1-32, Amsterdam, 1984.

HENDERSON, P. & PANKHURST, R. J.: Analytic chemistry. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 467-499, Amsterdam, 1984.

HENDERSON, P.: The rare earth elements: introduction and review. - In: JONES, A. P., WALL, F. & WILLIAMS, T. C. (ed.): Rare earth minerals. - Chapman & Hall, S. 1-19, London, 1996.

HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, 510 S., Amsterdam, 1984.

HOCHLEITNER, R. & WEISS, S.: Steckbrief: Columbit - Tantalit. - Lapis, 27/12, S. 7-11, München, 2002d.

HOLLAND, H., TUREKIAN, K. & SCOTT, S. (Vol.-Ed.): Treatise on Geochemistry: Volume 13: Geochemistry of Mineral Depsoits. - 2nd ed. - XXV, 649, Ill., Elsevier, Amsterdam, 2014.

HUBER, I.: Beitrag zur Geochemie der Flußspate. - Unveröff. Diss., Uni Wien, 108 S., 7 Bl., Wien, 1965.

HUGHES, E. (Ed.): Critical Materials for Green Energy. - Industrial Minerals, 565 sp.iss., 38 S., Metal Bulletin Journals Ltd, London, 2014.

HUMPHREYS, D.: The mining industry and the supply of critical minerals. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 30-50, 8 Abb., BGS, Wiley, Chichester, 2014.

HUMPHRIS, S. E.: The mobility of the rare earth elements in the crust. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 315-341, Amsterdam, 1984.

JACKSON, W., SURVEY, D. & CHRISTIANSEN, G.: International strategic minerals inventory summary report. - Rare-earth oxides. - US Geological Survey circular, 930-N, 68 S., Washington, 1993.

JONES, A. P., WALL, F. & WILLIAMS, T. C.: Rare earth minerals. Chemistry, origin and ore deposits. - Chapman & Hall, 372 S., London, 1996.

KAINDL, M.: Recycling von sekundären Batteriesystemen. – Unveröff. Diss., Montanuniversität Leoben,124 S., XLVII S., Leoben, 2015.

KANAZAWA, Y.: Rare earth minerals and resources in the world. – J. Alloys and Compounds, 408, S.1339-1343, Elsevier, Amsterdam, 2006.

KAUSCH, P., BERTAU, M., GUTZMER, J. & MATSCHULLAT, J.: Strategische Rohstoffe - Risikovorsorge. - XVII, 281 S., Springer Spektrum, Berlin, 2014.

KEITH, E.: Lithium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 230-260, 13 Abb., 5 Tab. BGS, Wiley, Chichester, 2014.

KEITH, K. N. (ed.): Rare earths - research and applications. - Nova Science Publishers, 425 S., New York, 2008.

KENNEDY, J.: Rare earth production, regulatory USA/International constraints and Chinese dominance; The economic viability is bounded by geochemistry and value chain integration. - In: DE LIMA, I. B. & W LEAL, W. (eds): Rare Earths Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications, Elsevier, Amsterdam, pp. 37-55, Elsevier, Amsterdam, 2015.

KLING, M., HÖLL, R. & SCHROLL, E.: Literaturstudie über Germanium in Gesteinen, Mineralen, Erzen und Lagerstätten. - Berichte zur Lagerstätten- u. Rohstoffforsch., 59, 234 S., Hannover, 2000.

KOLITSCH, U.: Ausgewählte Beiträge zur Synthese, Kristallographie und Kristallchemie von oxidischen Seltenerden-Verbindungen im System SEE_2O_3-Al_2O_3-TiO_2-SiO_2-MoO_3 (SEE = Nd, Gd, Y, Sc).- Unveröff. Habil.-Schr., Univ. Wien, Getr. Zählung, Enth. 17 Veröffentlichungen des Verf., Wien, 2004.

KRAUSS, U.: Tantal. - BGR, Untersuchungen über Angebot u. Nachfrage miner. Rohstoffe, 17, 279 S., Stuttgart, 1982.

KRAUSS, U.: Niob. - BGR, Untersuchungen über Angebot u. Nachfrage miner. Rohstoffe, 16, 208 S., Stuttgart, 1982.

KRAUSS, U. H.: International strategic minerals inventory summary report. - Natural graphite. - US Geological Survey circular. 930-H, 29 S., Washington, 1988.

KROSS, G.: Die Rohstoffe der Seltenen Erden: Vorkommen, Nutzung, Märkte. - Verlag Glückauf, Bergbau, Rohstoffe, Energie, 8, 80 S., Essen, 1974.

KÜHN, K.: Zur Geochemie von Nickel und Kobalt. - Diss. Clausthal, Techn. Hochsch., 225 S., Clausthal, 1968.

LEEB, St.: Die gelbe Gefahr: wie Chinas Gier nach Rohstoffen unseren Lebensstil gefährdet - 284 S., FinanzBuch Verlag, München, 2012.

LEEDER, O.: Fluorit. - Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 166 S., Leipzig, 1979.

LEHMANN, B.: Economic geology of rare-earth elements in 2014; a global perpective. – European Geologist, 37, S. 21-24, 2014.

LENZ, C.: Luminescence of Lanthanoides (Rare-earth elements): Probes of structural variations in minerals. – Unveröff. Diss., Univ. Wien,111 S., Anh., Wien, 2015.

LESNOV, F. P.: Rare earth elements in ultramafic and mafic rocks and their minerals: main types of rocks, rock-forming minerals. - XXVI, 580 S., CRC Press, Boca Raton, 2010.
LESNOV, F. P.: Rare earth elements in ultramafic and mafic rocks and their minerals: minor and accessory minerals - X, 314 S., CRC Press, Boca Raton, 2012.
LI, Y. H.: A Compendium of Geochemistry. Elemental Composition Changes from Solar Nebula to the Human Brain. - 475 S., Princeton University Press, Princeton, 2000.
LIPIN, B. R. & McKAY, G. A. (ed.): Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. - Reviews in Mineralogy, 21, 348 S., Washington, 1989.
LIEDTKE, M. & ELSNER, H.: Seltene Erden. - BGR, Commodity Top News Nr. 31, 6 S., Hannover, 2010.
LINHARDT, E. & GEBHARDT, A.: Selten Erd Elemente als Beifang sedimentärer Lagerstätten. - Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente, 96 S., 80 Abb., 30 Tab., Augsburg, 2014.
LINHARDT, E. & GEBHARDT, A.: Selten Erd Elemente in bayerischen Tongesteinen. - Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente, 11 S., 1 Abb., 2 Tab., Augsburg, 2014.
LINHARDT, E. & ZARBOK, P.: Geochemischer Atlas natürlicher Haupt-, Neben- und Spurenelemente der Gesteine Bayerns. - Fachberichte Bayerisches Landesamt für Umwelt, 24, 188 S., München, 2005.
LINNEN, R. L.: The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and Li + F; constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites. - Econ. Geol., 93, S. 1013-1025, New Haven, 1998.
LINNEN, R. L. & IAIN, S. (ed.): Rare-element geochemistry and mineral deposits: St. Catharines, Ontario, 10 - 11 May, 2004. - X, 342 S., Geological Association of Canada; 17, Ontario, 2005.
LINNEN, R., TRUEMAN, D.L. & BURT, R.: Tantalum and niobium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 361-384, 12 Abb., 4 Tab., BGS, Wiley, Chichester, 2014.
LINNEN, R.L., SAMSON, I.M., WILLIAMS-JONES, A.E. & CHAKHMOURADIAN, A.R.: Geochemistry of the rare-earth elements, Nb, Ta, Hf, and Zr deposits.- In: HOLLAND, H.D. and TUREKIAN, K.K. (eds.): Treatise on Geochemistry, Second Edition, vol. 13, S. 543-568, Oxford: Elsevier, 2014.
LONDON, D.: Geochemistry of alkaline earth elements in ore-forming granites, pegmatites, and rhyolites. - In: LINNEN, R.L. & SAMSON, I.M. (eds.): Rare-element geochemistry and mineral deposits. - Geological Association of Canada, Short course notes, 17, S. 17-43, Toronto, 2005.
LONDON, D. & KONTAK, D. (Guest Ed.): Granitic Pegmatites. – Elements, 8.4, S. 257-294, ill., Richmond Hill, 2012.
LUCAS, J., LUCAS, P., MERCIER, T., ROLLAT, A. & DAVENPORT, W.: Rare Earths: Science, Technology, Production and Use. - XX, 370 S., Elsevier, Amsterdam, 2015.
MAKSIMOVIĆ, Z. J. & PANTO, G.: Authigenic rare earth minerals in karst-bauxites and karstic nickel deposits. - In: JONES, A. P., WALL, F. & WILLIAMS, T. C. (eds.): Rare earth minerals. - Chapman & Hall, S. 257-279, London, 1996.
MARIANO, A. N.: Economic geology of rare earth minerals. - In: LIPIN, B. R. & McKAY, G. A. (eds.): Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. - Reviews in Mineralogy, 21, S. 309-337, Washington, 1989.
MARILLO SIALER, E. J.: Development of an analytical method for determination of rare earth elements in rock samples by HPIC-ICP-MS. – Unveröff. Masterarb., Montanuniversität Leoben, 73 S., Bl. I – XXII, Leoben, 2010.
McLENNAN, S. M.: Rare earth elements in sedimentary rocks; influence of provenance and sedimentary processes. - In: LIPIN, B. R. & McKAY, G. A. (eds.): Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. - Reviews in Mineralogy, 21, S. 189-200, Washington, 1989.
MELCHER, F. & BUCHHOLZ, P.: Germanium. -– In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 177-203, 6 Abb., 7 Tab. BGS, Wiley, Chichester, 2014.
MIELKE, J. S.: Composition of the Earth's crust and distrubition of elements.– In: SIEGEL, F. R. (ed.): Review of research on modern problems in geochemistry. - Earth Sciences, 16, 13–37, UNESCO, Paris, 1979.
MILLENSIFER, T.A., SINCLAIR, D., JONASSON, I. & LIPMANN, A.: Rhenium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 340-360, 9 Abb., 6 Tab., BGS, Wiley, Chichester, 2014.
MOLINA, J., SCARROW, J., BEA, F. & MONTERO, P. (Ed.): Seventh Hutton Symposium on Granites and related Rocks - Lithos; 153, V, 323 S., Elsevier, Amsterdam, 2012.
MÖLLER, P., CERNY, P. & SAUPE, F.: Lanthanides, tantalum and niobium: mineralogy, geochemistry, characteristics of primary ore deposits, prospecting, processing and applications: proceedings of a workshop in Berlin, November 1986. - Special Publication of the Society for Geology applied to Mineral Deposits, 7, 380 S., 137 Abb., Berlin, 1989.
MOLDOVEANU, G. & PAPANGELAKIS, V. G.: Recovery of rare earth elements adsorbed on clay minerals: I. Desorption mechanism. - Hydrometallurgy,117-118; S. 71-78, Elsevier, Amsterdam, 2012.
MOLDOVEANU, G. & PAPANGELAKIS, V. G.: Recovery of rare earth elements adsorbed on clay minerals: II. Leaching with ammonium sulfate. - Hydrometallurgy, 131-132, S. 158-166, Elsevier, Amsterdam, 2013.
MOLDOVEANU, G. & PAPANGELAKIS, V. G.: An overview of rare-earth recovery by ion-exchange leaching from ion-adsorption clays of various origins. - Mineralogical Magazine, 80/1, S. 63-76, Elsevier, Amsterdam, 2016.
NAUKHOFF, M. H.: Strategische Metalle und Seltenerd-Metalle. Investieren in Technologiemetalle und Hightechmetalle: Indium, Wismut, Terbium & Co. - FinanzBuch, 383 S., München, 2010.
NAUKHOFF, M. H.: Strategische Metalle und seltene Erden: investieren in Technologiemetalle und Hightech-Metalle: Indium, Wismut, Terbium & Co. - 2., überarb. u. aktualisierte Aufl., 382 S., FinanzBuch-Verl., München, 2011.

NEARY, C. R. & HIGHLEY, D. E.: The economic importance of the rare earth elements. - In: HENDERSON, P. (ed.): Rare earth element geochemistry. - Elsevier, S. 423-466, Amsterdam, 1984.
NEELAMEGGHAM, N, N. & BROWN, B.: Magnesium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 261-283, 8 Abb., 3 Tab., BGS, Wiley, Chichester, 2014.
NYAKAIRU, G. W. A.: Mineralogy and chemical composition and distribution of rare earth elements of clay-rich sediments, central Uganda. – Unveröff. Diss., Univ. Wien, XVIII, 154, 28 S., Wien, 2001.
ONDREICKA, B. & SAMMAN, N.: Rare Earth. – 179 S., Sternberg Press, Berlin, 2015.
ORRIS, G.J. & GRAUCH, R.I.: Rare Earth Element. Mines, Deposits, and Occurrences. - USGS Open-File Rep., 02-189, 174 S., Tuscon, 2002.
PARKER, L. R. & FLEISCHER, M.: Geochemistry of Niobium and Tantalum. - U.S. Geological Survey Professional Paper, Nr. 612, 43 S., 25 Tab., Washington, 1968.
PALENCIA, C. M & MISHRA, C. P.: Antimony-Availability: Market economy coutries: A minerals availability appraisal. - U.S. Bureau of Mines Information Circular, Nr. 9098, 20 S., Washington, 1986.
PILARSKY, G.: Wirtschaft am Rohstofftropf: der Kampf um die wichtigsten mineralischen Ressourcen - XI, 121 S., Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014.
PIRKL, H.: Versuche zur Interpretation von bachsedimentgeochemischen Daten aus Bereichen des Weinsberger Granits - Grenzen und Möglichkeiten. - Unveröff. Bericht (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 24 S., 14 Beil., Wien, 1991.
PIRKL, H., SCHEDL, A., PFLEIDERER, S., NEINAVAIE, H., REITNER, H., FILZMOSER, P. & LIPIARSKI, P.: Geochemischer Atlas von Österreich - Dokumentation der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie (1978-2010). - Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 28, 288 S., Wien, 2015.
POHL, W.: Mineralische und Energie-Rohstoffe: Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten. - 5. Aufl. - VII, 527 S., 189 Abb., Schweizerbart, Stuttgart, 2005.
POHL, W.: Economic Geology: Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons - Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral Deposits. - 663 S., Wiley-Blackwell, Cichester, 2011.
POLLARD, P. J.: Geochemistry of granites associated with tantalum and niobium mineralization. -In: MÖLLER, P., CERNY, P. & SAUPE, F. (eds.): Lanthanides, tantalum and niobium. - Springer, S. 237-253, Berlin, 1989.
POSCHER, A.: Extraction of lanthanides and antimony from industrial residues. – Unveröff. Diss., Montanuniversität Leoben, IX, 143 S., Leoben, 2014.
QUINBY-HUNT, M. S., WILDE, P., ORTH, C. J. & BERRY, W.B.N.: Elemental Geochemistry of Black Shales-Statistical Comparison of Low-Calcic Shales with Other Shales. In Metalliferous Black Shales and related Ore Deposits. - U. S. Geological Survey Circular 1037, S. 8-15, Washington. 1989.
REICHL, C., SCHATZ, M. & CSAK, G.: World-Mining-Data/Welt-Bergbau-Daten 2014. – Bd. 29, 251 S., BMWFW, Wien, 2014.
REICHL, C., SCHATZ, M. & CSAK, G.: World-Mining-Data/Welt-Bergbau-Daten 2015. – Bd. 30, 251 S., BMWFW, Wien, 2015.
REIMANN, C., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., FILZMOSER, P. & O'CONNOR, P. [Eds.]: Chemistry of Europe's Agricultural Soils. Part A: Methodology and Interpretation of the GEMAS Data Set. – Geol. Jb., B 102, Schweizerbart, Stuttgart, 2014a.
REIMANN, C., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., FILZMOSER, P. & O'CONNOR, P. [Eds.]: Chemistry of Europe's Agricultural Soils. Part B: General Background Information and Further Analysis of the GEMAS Data Set. – Geol. Jb., B 103, Schweizerbart, Stuttgart, 2014b.
RICHTER, H. (2003). Hinweise zur Toxikologie von Seltenen Erden.- In: XVI. Tage der Seltenen Erden, 4. - 6. December 2003. Berlin, S. 51, Berlin, 2003.
ROBERTS, S. & GUNN, G.: Cobalt. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 122-149, 17 Abb., BGS, Wiley, Chichester, 2014.
ROGETZER, P. B.: Causal dynamics of the market for scarce natural resources: a system dynamics approach for the assessment of rare earth supply chain issues. - Unveröff. Masterarb., Wirtschaftsuniv. Wien, VII, 87 S., Wien, 2012.
ROSENBLUM, S. & FLEISCHER, M.: The distribution of rare-earth elements in minerals of the monazite family. - US Geological Survey Bulletin 2140, 62 S., Washington, 1995.
ROSKILL: Rare earths: Market outlook to 2020. - 15th Edition, 337 S., 139 Tab., 83 Abb., Roskill, London, 2015.
RUDNICK, R. & GAO, S.: Composition of the continental crust. - In: HOLLAND, H.D. & TUREKIAN, K.K. (Eds.): Treatise on Geochemistry, 3, S. 1-64, Elsevier-Pergamon, Oxford, 2003.
RWI ESSEN, FRAUNHOFER-INSTITUT & BGR: Trends der Angebots- und Nachfragesituation bei mineralischen Rohstoffen. - Endbericht Forschungsprojekt Nr. 09/05 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 350 S., Essen, 2006.
SALMINEN, R. [ed.]: Geochemical Atlas of Europe Part 1 Background Information, Methodology, Maps. – Geological Survey of Finland, 526 S., ill., Espoo, 2005.
SANTOSH, M. (Guest Ed.) & GROVES, D. (Guest Ed.): Giant Mineral Deposits. –- In: Geoscience Frontiers; Nr. 7.3, S. 299-542, Elsevier, Amsterdam, 2016.
SASTRI, V. S.: Modern aspects of rare earths and their complexes. - VII, 995 S., Elsevier, Amsterdam, 2003.
SATW: Seltene Metalle. Rohstoffe für Zukunftstechnologien. - SATW Schrift Nr. 41, 31 S., Zürich, 2010.

SCHEDL, A., LIPIARSKI, P., NEINAVAIE, H., BENOLD, C., PFLEIDERER, S. & BIEBER, G.: Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe gemäß der Kommissionsstudie, Kritische Rohstoffe für die EU (2010) - Datenaufbereitung betreffend Böhmische Masse, Ergebnisevaluierung als fachliche Basis zukünftiger Projektplanungen. – 128 S., 22 Abb., 11 Tab., Anh., Wien, 2013.

SCHEDL, A., PIRKL, H., NEINAVAIE, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P., HOBIGER, G., BENOLD, CH., HASLINGER, E., ATZENHOFER, B. & MAURACHER, J.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen ("Umweltgeochemie Steiermark"). - Unveröff. Bericht, Geol. B.-A., Endbericht 2010, Bund/ Bundesländerrohstoffprojekt St-C-076, 53 S., 73 Abb., 2 Tab., 3 Anh., 1 Beilbd., 2 Teile, Wien, 2010.

SCHEDL, A., NEINAVAIE, H., BENOLD, CH., HOBIGER, G., AUER, CH., LIPIARSKI, P. & WIMMER-FREY, I.: Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe – Antimon, Wolfram (Potenziale kritischer Rohstoffe II).– Unveröff. Jahresendbericht Projekt Ü-LG-67-2014, 150 S., 54 Abb., 22 Tab. 2 Beil., Wien, 2015.

SCHITTL, G.: Recyclingpotenzial von kritischen Rohstoffen in Technologien zur Energieumwandlung. – Unveröff. Masterarb. Univ. Bodenkultur Wien, 69 S., Wien, 2012.

SCHITTL, G.: Recycling kritischer Metalle: in Technologien zur Energieumwandlung. - 99 S., AV Akademikerverl., Saarbrücken, 2012.

SCHLOSSER, G., GATTRINGER, C., LANER, D. & RECHBERGER, H.: Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich. Gesamtwirtschaftliche Stoffanalysen ausgewählter kritischer Rohstoffe (AP 7) – Endbericht - TU Wien, Inst. f. Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, 138 S., 23 Abb., 55 Tab., Wien, 2013.

SCHMIDT-CRAMER, J.: Spezielle mineralogische Untersuchungen granitophiler opaker Minerale unter besonderer Berücksichtigung der Niob-Tantal-Paragenese.- Diss. Clausthal, Techn. Univ., 326 S., Clausthal-Zellerfeld, 1992.

SCHREYER, A.: Seltene Erden: ist der technologische Fortschritt Europas gefährdet? – Unveröff. Master Thesis, Technikum Wien, FH- Stg. Internationaler Wirtschaftsingenieur, 101 S, Wien, 2012.

SCHWARZ-SCHAMPERA, U.: Antimony. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 70-98, 8 Abb., 8 Tab., BGS, Wiley, Chichester, 2014.

SCHWARZ-SCHAMPERA, U.: Indium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 204-229, 6 Abb., 7 Tab., BGS, Wiley, Chichester, 2014.

SEIDLER., CH.: Deutschlands verborgene Rohstoffe: Kupfer, Gold und Seltene Erden. – 245 S., Hanser, München, 2012.

STARKEY, H. C.: The role of clays in fixing lithium. - Geological Survey bulletin, 1278-F, Contributions to geochemical prospecting for minerals, 11 S., Washington, 1982.

STEINBACH, V., BUCHHOLZ, P., ELSNER, H. & WILKEN, H.: Verfügbarkeit von Rohstoffen mit Blick auf Zukunftstechnologien. - In: KAUSCH, P. (Hrsg.): Energie und Rohstoffe. - Spektrum Akademischer Verlag, S. 169-179, Heidelberg, 2011.

STUHLPFARRER, P. J.: Recycling von Elektronikschrott unter besonderer Berücksichtigung der Sondermetalle und Seltenen Erden. – Unveröff. Diss., Montanuniversität Leoben, II, 152, XCII S., Leoben, 2015.

SUBBARAO, E. C. (ed.): Science and technology of rare earth materials. - Academic Press, 439 S., New York, 1980.

TAYLOR, S.R.: Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. - Geochimica et Cosmochimica Acta, 28/8, 1273-1285, Pergamon Press, New York, 1964.

TAYLOR, S. R. & McLENNAN, S. M.: The geochemical evolution of the continental crust. - Rev. Geophys., 33, S. 241-265, American Geophysical Union, Washington, 1964.

THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G.: Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1,000.000. - Geol. B.-A., Wien, 141 S., 47 Abb., 5 Tab., 6 Taf., Wien, 1989.

TRUEMAN, D. & SABEY, P.: Beryllium. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 99-121, 13 Abb., BGS, Wiley, Chichester, 2014.

TUREKIAN, K.-K. & WEDEPOHL, K. H.: The Distribution of the Elements in the Crust of the Earth. - Bull. Geol. Soc. America, 72, 175-192, GSA, Boulder, 1961.

VAN LICHTERVELDE, M.: Rare-element pegmatites - from natural systems to the experimental lab. - Mitt. Österr. Min. Ges., 160. – S. 13-15, Wien, 2014.

VINE, J. D. & TOURTELOT, E. B.: Geochemistry of Black Shale Deposits - A Summary Report. - Economic Geology, 65, 1970, S. 253-272, 1970.

VINOGRADOV, A. P.: Average Contents of Chemical Elements in the Principal Types of Igneous Rocks of the Earth's Crust. – Geochemistry, 1, S. 641-664, New York, 1962.

VONCKEN, J.: The rare earth elements: an introduction. - X, 127 S., Springer, 2016.

WALL, F.: Rare earth elements. – In: GUNN, G. (ed.): Critical Metals Handbook. – S. 312-339, 14 Abb., 5 Tab. BGS, Wiley, Chichester, 2014.

WALTRITSCH, S.: Die Seltenen Erden und ihre Anwendungen. - BHMH, 155, S. 17-19, Wien, 2010.

WALZL, B. A.: Future supply and demand balance of the global rare earth market: a study on the future supply sources outside China. – Unveröff. Bakk.-Arb., Graz, Fachhochschule Joanneum, [9], 71, [28] S. + 1 CD-ROM, Graz, 2013.

WATANABE, Y.: Rare Earth Resources. - Resource Geology, 58.4, S. 335-427, Society of Resource Geology, Tokyo, 2008.

WEDEPOHL, K. H.: Composition and abundance of common igneous rocks. - In: WEDEPOHL, K.H. (ed.): Handbook of Geochemistry, Vol. I, S. 227-249, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1969a.

WEDEPOHL, K. H.: Composition and abundance of common sedimentary rocks. - In: WEDEPOHL, K.H. (ed.): Handbook of Geochemistry, Vol. I, S. 250-271, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1969b.
WEDEPOHL, K. H.: Geochemische Daten von sedimentären Karbonaten und Karbonatgesteinen in ihrem faziellen und petrogenetischen Aussagewert. - Verh. Geol. B.-A., 1970, S. 692-705, Wien, 1970.
WEDEPOHL, K. H. [ed.]: Handbook of Geochemistry Vol. II/1-5, Loseblattsammlung, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1974.
WEDEPOHL, K. H.: The composition of the continental crust. - Geochim. Cosmochim. Acta, 59, S. 1217-1232, Geochemical Society, Pergamon Press, New York, 1995.
WELLMER, F. (Hrsg.): Geoforum 2015: Potentiale und Kompetenzen Deutschlands, speziell Niedersachsens, für die Rohstoffversorgung. - Akad. f. Geowissen. u. Geotechn. Veröffentl.; Nr. 31 (2015), 91 S., Akademie für Geowissenschaften und Geotechnologien (AGG), Hannover, 2015.
WERNER, A. B. T.: International strategic minerals inventory summary report. - Tungsten. - US Geological Survey circular. 930-O, 71 S., Washington, 1998.
WOODWARD, R. C. (ed.): Rare earths '98. International Conference on Rare Earths, 1998, Fremantle, Western Australia (Proceedings). - Trans Tech Publ., 608 S., Uetikon-Zürich, 1999.
ZAUNRITH, G.: Seltene Erden: Mineralogie, Geologie, Lagerstätten und Projekte, Gewinnung, Verwendung / Guido Zaunrith . - 08/08/2013, 2013. – Unveröff. Bachelorarbeit, Montanuniversität Leoben, VIII, 106, I - VIII Seiten, Leoben, 2013.
ZEPF, V.: Die Seltenen Erden - umkämpfte Rohstoffe für Gegenwart und Zukunft. - In: Blätter für Technikgeschichte, 77, S. 101-121, Wien, 2015.
ZHANG, J.: Separation hydrometallurgy of rare earth elements. - xvi, 259 S., Springer International Publishing, 2016.
ZULKA-SCHALLER, G. (Red.): Rohstoffe und ihre Endlichkeit: The Future We Want. – 76 S., Naturhistorisches Museum Wien, Wien, 2014.
YANG, X. J., AIJUN, L., XIAO-LIANG, L., YIDING, W. X., JIN, Y., AIJUN, L., XIAO-LIANG, L. & YIDING, W.: China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. - Environmental Development, 8, S. 131–136, Elsevier, Amsterdam, 2013.

5.2 Seltene Erdelemente

AGIORGITIS, G.: Zur Geochemie einiger seltener Elemente in basaltischen Gesteinen. - TMPM, III. F., 12, S. 205-229, Wien, 1968.
ALKER, A.: Der Lazulith im Freßnitzgraben bei Krieglach. - Der Aufschluß, Sh. 22, S. 51, Heidelberg, 1972h.
AUSTROMINERAL: Hochwertige Tone am SE-Rand der Böhmischen Masse, N.Ö.: Detailerkundung zur Unterstützung raumplanerischer Maßnahmen; erstellt für das Land Niederösterreich (Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-003d/82).- 98 Bl., 28 Abb., 17 Tab., 13 Ktn., Anh., Wien, 1984.
AUSTROMINERAL: Endbericht über Leukophyllit/Weisserde Vorkommen in der Zentralzone von Niederösterreich. - 96 S., 26 Abb., 13 Tab., 7 Anh., Unveröff. Endbericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-030/F/85, Wien, 1985.
BERL, R.: Lazulith in Österreich, Teil 1. Bemerkungen zu einigen Lazulithfundpunkten von Niederösterreich und Steiermark. - Der Steirische Mineralog, 10, S. 5-14, Graz, 1996.
BERL, R.: Lazulith in Österreich, Teil 2. Bemerkungen zu einigen Lazulithfundgebieten des Landes Salzburg. - Der Steirische Mineralog, 11, S. 5-10, 7 Abb., Graz, 1997.
BERL, R.: Lazulithvorkommen in Österreich. - Mineralien-Welt, 11/3, S. 39-54, Haltern, 2000.
BERNHARD, F.: Arrojadit vom Gießhübler Berg, Fischbacher Wald, Steiermark, Österreich: Mineralchemische und röntgenographische Daten. - Matrixx, 5, S. 31-38, Graz, 1996.
BERNHARD, F.: Neue Mineralfunde in Österreich, XLVI. - 1092. Cinnabarit neben Hämatit, Lazulith, Svanbergit und Gorceixit vom Gießhübler Berg, Fischbacher Wald bei Fischbach, Steiermark. - Carinthia, II, 107, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 187, S. 202, Klagenfurt, 1997.
BERNHARD, F.: Paragenetische, mineralchemische und röntgenographische Daten von Bearthit vom Lazulithfundpunkt am Rotriegel, Fresnitzgraben bei Krieglach, Fischbacher Alpen, Steiermark. - Mitt. Abt. Min. Landesmus. Joanneum, 62/63, S. 49-54, 6 Abb., 2 Tab., Graz, 1998.
BERNHARD, F.: Scandium mineralization associated with hydrothermal lazulite-quartz veins in the Lower Austroalpine Grobgneis complex, Eastern Alps, Austria. - In: PIESTRZYNSKI A. et al. (eds.): Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century. - A. A. Balkema Publishers, S. 935-938, Rotterdam, 2001.
BERNHARD, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVI. -1506: Lithiophorit von der Elmleiten, Fischbacher Wald südlich Fischbach, Steiermark. - Carinthia, II, 117, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 197, S. 175-176, Klagenfurt, 2007.
BERNHARD, F.: Über eine Erz- und Kluftmineralisation in Krumbach bei Soboth, südliche Koralpe, Steiermark. - Der Steirische Mineralog, 27, S. 40-48, 32 Abb., Graz, 2013.
BERNHARD, F., HOINKES, G., MOGESSIE, A., POSTL, W. & TAUCHER, J.: Phosphate parageneses in the "Semmeringquarzit" and related quartz veins of the Lower Austroalpine "Fischbach" Window, North-Eastern Styria, Austria. - Mitt. Österr. Min. Ges., 141, S. 66-67, Wien, 1996.

BERNHARD, F. & LEIKAUF, B.: Neue Mineralfunde aus Österreich LV. -1505. Churchit-(Y), Gorceixit und Svanbergit von der Lazulithfundstelle am Inselberg, östlich Rettenegg. - Carinthia, II, 117, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 197, S. 174-175, Klagenfurt, 2007.

BERNHARD, F. & POSTL, W.: Neue Mineralfunde aus Österreich, LIII. - 1371. Rutil, Florencit-(Ce), Xenotim-(Y) und Crandallit vom Lazulithvorkommen am Graulahnerkogel, Granatspitzgruppe, Hohe Tauern. - Carinthia, II, 114, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 194, S. 235-236, Klagenfurt, 2004.

BERNHARD, F., SCHITTER, F., ETTINGER, K., TAUCHER, J. & MELCHER, F.: Pretulite, $ScPO_4$, a new scandium mineral from the Styrian and Lower Austrian lazulite occurrences, Austria. - American Mineralogist, 83, S. 625-630, 4 Abb., 4 Tab., Washington, 1998.

BERNHARD, F., SCHITTER, F. & FINGER, F.: Zur Altersstellung der Lazulith-Quarz-Gänge im unterostalpinen Grobgneiskomplex der Nordoststeiermark und des südlichen Niederösterreich. - Mitt. Naturwiss. Ver. f. Steiermark, 128, S. 43-56, Graz, 1998.

BERNHARD, F. & TAUCHER, F.: Churchit-(Y) neben Gorceixit von der Elmleiten, Fischbacher Wald bei Fischbach, Steiermark, Österreich. - Annalen Journal of science and art, 1, S. 125-128, Graz, 1999.

BLASS, G. & GRAF, H. W.: Neue Mineralfunde aus Österreich XLIX. - 1206. Goyazit aus dem Aushub der Oströhre des Wolfsbergtunnels bei Spittal a. d. Drau, Kärnten - Carinthia, II, 110, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 190, S. 191-192, Klagenfurt, 2000.

BLASS, G. & GRAF, H. W.: Neue Mineralfunde aus Österreich XLIX. - 1208. Goyazit, Gorceixit, Florencit-(Ce) sowie Hämatit, Goethit, Lepidokrokit und Pyrolusit vom Pegmatitsteinbruch Lippnik bei Spittal a. d. Drau, Kärnten. - Carinthia, II, 110, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 190, S. 193-194, Klagenfurt, 2000.

BOJAR, W., BRANDSTÄTTER, F. & NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich LXII. – 1794. Akanthit, ged. Silber, Goyazit, Synchisit-(Ce), Thorianit, Xenotim-(Y), Zirkon sowie ein noch nicht genauer definiertes Ce-Fe-Silikat – ungewöhnliche Begleitmineralien des Amethyst-Fundes in der Wurten aus dem Jahr 2011, Kärnten. - Carinthia, II, 123, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 203, S. 105-107, Klagenfurt, 2013.

BOJAR, H.-P., ETTINGER, K., LEIKAUF, B., POSTL, W. & WALTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XLVIII. - 1181. Bastnäsit-(Ce) und ein weiteres Selten-Erden-Karbonat aus dem Galgenbergtunnel bei Leoben, Steiermark. - Carinthia, II, 109, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 189, S. 177-178, Klagenfurt, 1999.

BOJAR, H.-P., ETTINGER, K., LEIKAUF, B., POSTL, W. & WALTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich, L. - 1281. Bastnäsit-(Ce) und ein weiteres Selten-Erden-Karbonat der Ankylit Reihe aus dem Galgenbergtunnel bei Leoben, Steiermark. - Carinthia, II, 111, Mitt. Naturwiss. Ver. F. Ktn., 191, S. 177-178, 1 Abb., Klagenfurt, 2001.

BRANDSTÄTTER, F. & NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich XLVII. - 1131. Kobeit-(Y) aus dem Riebeckitgneis-Steinbruch bei Gloggnitz, Niederösterreich. - Carinthia, II, 108, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 188, S. 246-247, Klagenfurt, 1998.

BRANDSTÄTTER, F., NIEDERMAYR, G. & MEREITER, K.: Über den Synchisit vom Hopfelboden im Obersulzbachtal, Salzburg. - Mitt. Österr. Min. Ges., 128, S. 61-63, 1 Tab., Wien, 1983.

BRANDSTETTER, G. & REICH, W.: Luftenberg - eine bedeutende Pegmatitmineralisation in Oberösterreich. - OÖ. Geonachr., 13, S. 11-25, 26 Abb., 1 Tab., Linz, 1995.

BRANDSTETTER, G. & REICH, W.: Luftenberg - eine bedeutende Pegmatit-Mineralisation in Oberösterreich. - Mineralien-Welt, 10, S. 31-42, 27 Abb., Haltern, 1999.

BREITER, K.: Variscan Rare metal bearing granitoids of the Bohemian Massif. – In: SELTMANN, R., KÄMPF, H., MÖLLER, P. (Eds.): Metallogeny of collisional orogens. - Cech Geological Survey, S. 91-95, Prag, 1994.

BREITER, K.: Geological mapping of the area Brand - Litschau. - Unveröff. Ber. (Wiss. Arch. Geol. B.-A.), 9 S., 4 Abb., 1 Anh., o. O., 1995.

BREITER, K.: Frakcionace weinsberského granitu na Šumavě. Fractionation of the Weinsberg granite in the Bohemian Forest. - Zpr. geol. Výzk. v Roce, 2008, S. 143-146, Prag, 2009.

BREITER, K.: Geochemical classification of Variscan Granitoids in the Moldanubicum (Czech Republic, Austria). - Abh. Geol. B.-A., 65, S. 19-25, Wien, 2010.

BREITER, K. & FRÝDA, J.: Phosphorus-rich alkali feldspars and their geological interpretation, example Homolka magmatic center. - Mitt. Österr. Min. Ges., 139, S. 279-281, Wien, 1994.

BREITER, K. & FRÝDA, J.: Mineralogical evidence of vertical zonality in a highly fractionated P-rich rare metal-bearing granite system, Podlesi, Czech Republic. - Mitt. Österr. Min. Ges., 141, S. 77-78, Wien, 1996.

BREITER, K., FRÝDA, J. & LEICHMANN, J.: Phosphorus and rubidium in alkali feldspars: case studies and possible genetic interpretation. - Bull. Czech Geol. Surv., 77, S. 93-104, Praha, 2002.

BREITER, K., GÖD, R., KOLLER, F., SLAPANSKY, P. & KOPECKY, L.: Exkursion D: Mineralisierte Granite im Südböhmischen Pluton. - Mitt. Österr. Min. Ges., 139, S. 429-456, 4 Tab., Wien, 1994.

BREITER, K., KOLLER, F., SCHARBERT, S., SIEBEL, W., SKODA, R. & FRANK, W.: Two-mica Granites of the Plechy (Plöckenstein) Pluton in the Triple-Point Area (Trojmezi, Dreiländereck) of Austria, the Czech Republic, and Germany. - Jb. Geol. B.-A., 147, S. 527-544, Wien, 2007.

BREITER, K. & SCHARBERT, S.: The Homolka Magmatic Centre – an Example of Late Variscan Ore Bearing Magmatism in the Southbohemian Batholith. - Jb. Geol. B.-A., 138/1, S. 9-25, Wien, 1995.

BREITER, K. & SCHARBERT, S.: The Eisgarn granite and its successors in the South Bohemian batholith. - Mitt. Österr. Min. Ges., 141, S. 75-76, Wien, 1996.
BREITER, K. & SCHARBERT, S.: Two-mica and biotite granites in the Weitra-Nove Hrady area, Austria - Czech Republic. - Jour. Czech Geol. Society, 51, S. 217-230, Prag, 2006.
CERNY, P., MEINTZER, R. E. & ANDERSON, A. J.: Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms. - Can. Miner., 23, S. 381-421, Toronto, 1985.
CERNY, P.: Rare-element granitic pegmatites. - Geoscience Canada, 18, S. 49-81, Ottawa, 1991.
CERNY, P.: Petrogenesis of rare-element granitic pegmatites: Evidence available and missing links. - Mitt. Österr. Min. Ges., 139, S. 282-284, Wien, 1994.
CORNELIUS, H. P.: Neue Lazulithfunde im Mürztal. - Verh. Geol. B.-A., 1931/2, S. 93-94, Wien, 1931b.
CORNELIUS, H. P.: Ein Vorkommen von Lazulith am Graulahnerkopf. (Granatspitzgruppe, Hohe Tauern). - Verh. Geol. B.-A., 1936, S. 115-116, Wien, 1936.
CRUMBACH, M.: Alpine Seltenerden-Mineralien: Zwischen Binntal und Alpe Veglia. - Lapis, 41, 9/2016, S. 22–33, München, 2016.
DEMARTIN, F., PILATI, T., DIELLA, V. & GRAMACCIOLI, C. M.: Rare-earth minerals in the Alpine region. Mitt. Österr. Min., 135, S. 17-18, Wien, 1990.
ERTL, R. F. & ERTL, S.: Bemerkenswerteste Lazulithvorkommen in Österreich. - Der Aufschluß, 25/10, S. 526-530, Göttingen, 1974b.
ERTL, R. F. & ERTL. S.: Lazulith - Niederösterreichs blaues Fossil. - Mefos, 3/5, S. 4-8, Wien, 1992.
EXEL, R.: Die Mineralien und Erzlagerstätten Österreichs. Mit Lexikon der Mineralien Österreichs. - Eigenverlag Dr. Reinhard Exel, Wien, 447 S., Wien, 1993.
EXEL, R., DALLINGER, R. & PICHLER, P.: Ein bemerkenswerter Eigenfund: Synchisit vom Stampflkees in den Zillertaler Alpen/Tirol. - Lapis, 13, S. 38, München, 1988.
FOLIE, K. & ROCCHETTI, I.: Novità Mineralogiche del Passo di Vizze. - Rivista Mineralogica Italiana, 4, S. 222-230, Milano, 1999.
GAMPER, J.: Lazulith von Krieglach. - Verh. Geol. R. -A., 1877, S. 118-121, Wien, 1877.
GASSER, V. M.: Gehalte an seltenen Erden von Graniten und deren Apatiten der südlichen Bömischen Masse. - Unveröff. Dipl. Arb., Univ. Salzburg, 64 S., Wien, 1994.
GATTRINGER, C. A.: Stoffflussanalyse von Neodym in Hochtechnologieanwendungen für Österreich. – Unveröff. Dipl.-Arb., Techn. Univ. Wien, 116 S., Wien, 2012.
GIRTLER, D. & TROPPER, P.: Mn^{2+}-allanite and rare Co-Ni-As sulfides from the Veitsch Mn deposit (Styria). – PANGEO AUSTRIA 2012: geowissenschaften plus praxis, 15-20. Sept. Salzburg, Abstracts, S. 50, Salzburg, 2012.
GÖD, R., OBERLERCHER, G. & BRANDSTÄTTER, F.: Zur Geochemie und Mineralogie eines Monazit führenden Granitkörpers im Südböhmischen Pluton (Gutau, Oberösterreich). - Jb. Geol. B.-A., 139, S. 445-452, Wien, 1996.
GRÖBNER, J. & KOLITSCH, U.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVII. – 1531. Aeschynit-(Y), Gadolinit, Synchisit-(Ce), Zirkon und andere Mineralien aus einem Aplitgang am Beryller im Untersulzbachtal. - Carinthia, II, 118, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 198, S. 238-239, Klagenfurt, 2008a.
GRÖBNER, J. & KOLITSCH, U.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVII. – 1532. Monazit-(Ce) und Rutil sowie ein neuerlicher Fund von Enargit von der Wieseggrinne am Leutachkopf im Untersulzbachtal. - Carinthia, II, 118, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 198, S. 239, Klagenfurt, 2008b.
GROHMANN, H. & SCHROLL, E.: Zur Frage der Abhängigkeit der Konzentrationen seltener Elemente von der Altersfolge der granitoiden Gesteine der südlichen Böhmischen Masse. - TMPM, III.F., 11, 3, S. 348-357, 5 Abb., 2 Tab., Wien, 1966.
GRUNDMANN, G. & KOLLER, F.: Die Aeschynite und ihr Zonarbau aus Beryllium - Mineralparagenesen des Smaragdvorkommens an der Legbachscharte im Habachtal, Land Salzburg (Österreich). - N. Jb. Miner. Anh., 135, S. 36-47, Stuttgart, 1979.
HÖHN, S.: Die seltene Erdelement-Verteilung in Kaolinlagerstätten und deren Aufbereitungsprodukten in der Böhmischen Masse (Österreich, Tschechien). - Unveröff. Master-Arb., Univ. Würzburg, Würzburg, 2013.
HÖHN, S., FRIMMEL, H. E. & PASAVA, J.: The rare earth potential of kaolin deposits in the Bohemian Massif (Czech Republic, Austria). - Min. Deposita, 49.8, S. 967-986, Berlin, 2014.
HOLLERER, C. E.: Ca $RE_2(CO_3)_4 \cdot H_2O$. Ein neues Mineral aus dem Eisenbahntunnel Galgenberg bei St. Michael ob Leoben, Steiermark, Österreich. - Unveröff. Diss., Univ. Graz, 280 S., Graz, 1995.
HOLLERER, C. E.: Über einige seltenen Erden aus dem Eisenbahntunnel, Galgenberg. - Almanach 1998, Werkstatt Graz, S. 78-85, Graz, 1998.
HOLLERER, C. E.: Minerale des Eisenbahntunnels Galgenberg, Jassing, St. Michael ob Leoben, Steiermark, Österreich. - Annalen Journal of science and art, 1, S. 11-22, 24 Abb., Graz, 1999.
HOLLERER, C. E., ETTINGER, K., TAUCHER, J. & WALTER, F.: $CaRe_2(CO_3)_4$, ein neues Mineral aus der Steiermark, Österreich. - Mitt. Österr. Min. Ges., 141, S. 114-115, Wien, 1996.
HOLZWEBER, B. I.: Fluiduntersuchungen und SEE-Analysen an Sideriten vom Steirischen Erzberg und Grillenberg. - Unveröffentl. Magisterarb. Montanuniversität Leoben, 109 S., Leoben, 2008.
HUBER, H.: Synchisit und Brookit vom Hopffeldboden. (Bem. Eigenfund). - Lapis, 31/11, S. 31, München, 2006.

HUBER, M.: Bildung und geotektonische Bedeutung von Scherzonen (Leukophyllite) am Alpenostrand. – Unveröff. Diss. Montanuniversität Leoben, 136 S., ill., Leoben, 1994.
JAKLEY, D.: Ein Lazulithfund von Blasenberg bei Rettenegg. - Die Eisenblüte, N.F. 9/20, S. 20, Graz, 1988.
JANOTS, E., ENGI, M., BERGER, A., ALLAZ, J. SCHWARZER, J. O. & SPANDLER, C.: Prograde metamorphic sequence of REE-minerals in pelitic rocks of the Central Alps: implications for allanite – monazite – xenotime phase relations from 250 to 610°C. - J. Metamorph. Geol., 26, S. 509-526, Oxford, 2008.
KIESL, W.: Die Verteilung der Seltenen Erden, Thorium und Uran in Gesteinen und deren Schwermineralfraktionen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselgebietes. – Fortschr. Min., Beih., 59/1, S. 87, Berlin, 1981.
KIESL, W., WIESENEDER, H. & KLUGER, F.: Untersuchungen des Vorkommens der Selten Erden und von Thorium in Gesteinen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselfensters. - Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., Abt. I, 192, S. 1-20, Wien, 1983.
KIRCHNER, E. CH., MEDITZ, W. & NEUNINGER, H.: Zur Mineralogie des Mühlviertels. - Annalen Naturhist. Mus. Wien, 73, S. 37-48, Wien, 1969.
KLINAR, M.: Verfahrens- und Produktentwicklung bei den Aspanger Bergbau- und Mineralwerken. - Berg- u. Hüttenm. Mh., 146, S. 249-255, Wien, 2001.
KLÖTZLI, U. & KOLLER, F.: Sarleinsbach type of Weinsberg granite. -In: BREITER, K. (ed.): Genetic Significance of Phosphorus in Fractionated Granites: International Conference Czech Republic, Perslak, September 21 - 24, 1998: Excursion Guide. - Czech Geol. Surv., S. 137-139, Prag, 1998.
KOHOUT, K.: Xenotim und Anatas aus dem Oberpinzgau, Österreich. – Lapis, 26, S. 52-53, München, 2001.
KOHOUT, K.: Kainosit aus dem Hopffeldgraben im Obersulzbachtal. – Lapis, 27, S. 36, München, 2002.
KOLITSCH, U: Neue Mineralfunde aus Österreich LXII. - 1795) Bastnäsit(?)-(Ce), Chamosit, Chrysokoll, SEE-haltiger Epidot, Fluorit, Schwefel und andere Mineralien vom alten Bergbau am Fellimännle, Rindertal (Gaflunatal) im Montafon, Vorarlberg. - Carinthia, II, 123, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 203, S. 107, Klagenfurt, 2013.
KOLITSCH, U.: Neue Mineralfunde aus Österreich LXXIII. - 1855) Ankerit, Aragonit, Cobaltit, Dolomit, Elektrum, Florencit-(Ce), Gersdorffit, Jarosit, Magnesit, Malachit, Monazit-(Ce), Monazit-(La), Tellurobismuthit(?) und weitere Mineralien aus dem unteren Rellstal, Montafon.- Carinthia, II, 124, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 204, S. 81-92, Klagenfurt, 2014.
KOLITSCH, U.: Neue Mineralfunde aus Österreich LXXIII. - 1876) Agardit-(Ce), Agardit-(Nd), Plumboagardit(?), Pseudomalachit und Zalesiit(?) vom Kielbreinbau, Radhausberg-Südseite, Gasteinertal. - Carinthia, II, 124, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 204, S. 112, Klagenfurt, 2014.
KOLITSCH, U. & AUER, C.: Neue Mineralfunde aus Österreich LXXIII. - 1889) Allophan(?), Baryt, Brannerit, Brochantit, Cassiterit, Chalkoalumit, Chalkopyrit, Chamosit, Chrysokoll(?), Covellin, ein Mineral der Cyanotrichitgruppe, Delafossit, Dravit, Hämatit, Jarosit, gediegenes Kupfer, Malachit, Manganoxide, Monazit-(Ce), Muskovit, Pyrit, Quarz, Schwefel, Stannit, Tetraedrit, Woodwardit(?) und Xenotim-(Y) vom bronzezeitlichen Kupferbergbau bei Gasteil, Prigglitz. - Carinthia, II, 124, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 204, S. 121-124, Klagenfurt, 2014.
KOLITSCH, U., BLASS, G. & AUER, C.: Neue Mineralfunde aus Österreich LIX. - 1618) Bleihaltiger Agardit-(La) und Brookit von der Äußeren Wimitz, St. Veit an der Glan, Gurktaler Alpen. - Carinthia, II, 120, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 200, S. 203, Klagenfurt, 2010.
KOLITSCH, U., LORANTH, C. & BRANDSTÄTTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVII. - 1538) Chukhrovit-(Ce), Cyanotrichit, Gibbsit und andere Mineralien aus einer Vererzung im Gebiet Gamskarlgraben-Lachegggraben, Hoher Sonnblick, Rauriser Tal, Salzburg. - Carinthia, II, 118, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 198, S. 247-248, Klagenfurt, 2008.
KOLITSCH, U., SCHACHINGER, T. & BERNHARD, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVII. - 1543) Alpinotype Kluftmineralien (inkl. einer Pseudomorphose von Monazit-(Ce) nach Synchisit-(Ce)?) sowie weitere Mineralisationen aus dem Steinbruch Gopperding bei Schärding, Oberösterreich. - Carinthia, II, 118, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 198, S. 254, Klagenfurt, 2008.
KOLITSCH, U., SCHACHINGER, T. & TOMAZIC, P.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVII. - 1555) Anatas, Jarosit, Monazit-(Ce) und Siderit aus dem Teschengraben, Krieglach, Fischbacher Alpen, Steiermark. - Carinthia, II, 118, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 198, S. 260-261, Klagenfurt, 2008.
KOLLER, F. & NEUMAYER, R.: Die Mineralvorkommen der Diorite des nördlichen Waldviertels. - Annalen Naturhist. Mus. Wien, 82, S. 193-208, Wien, 1979.
KONTRUS, K.: Die Funde der Beryllium-Mineralien Phenakit, Milarit und Gadolinit in den Ostalpen. - Der Aufschluß, 16, S. 70-75, Göttingen, 1965.
KRENN, E. & FINGER, F.: Unusually yttrium rich monazite with 6-14 wt. % Y_2O_3 in a granulite from the Bohemian Massif: imlications for monazite - xenotime miscibility gap thermometry. - Miner. Magazine, 74, S. 217-225, London, 2010.
KRENN, E., PUTZ. H. & PAAR, W.: Sulfur-rich monazite with high common Pb in ore-bearing schists from the Schellgaden mining district (Tauern Window, Eastern Alps). - Mineralogy and Petrology, 102, S. 51-62, Wien, 2011.
LAMMER, F.: Das Lazulithvorkommen von Fischbach, Steiermark. - Der Aufschluß, 12, S. 588-589, Heidelberg, 1961.
LASSNIG, K.: Mineralisation und Petrogenese des Gebietes südlich von Krieglach, Fischbacher Alpen, Steiermark. - Unveröff. B.Sc. Thesis, Karl-Franzens Univ. Graz, 48 S., Graz, 2004.
LASSNIG, K., MOGESSIE, A., KRENN, K. & BERNHARD, F.: Mineralisation und Petrogenese im Teschengraben südlich von Krieglach, Fischbacher Alpen, Steiermark. - Joannea-Mineralogie, 3, S. 5-24, 8 Abb., 4 Tab., Graz, 2006.

LEITOLD, CH.: Qualitative und quantitative Identifizierung kritischer Rohstoffe in ausgewählten Sekundärrohstoffströmen in Österreich: Erstellung einer Sekundärrohstofflandkarte für 2030. – Unveröff. Masterarb., Montanuniv. Leoben, 94 S., IV, Leoben, 2016.

MATZ, K. B.: Zirkonvorkommen im Bereiche der Ostalpen. - Karinthin, 37, S. 263-267, Klagenfurt, 1958.

MEIXNER, H.: Das Mineral Lazulith und sein Lagerstättentypus. - Berg- u. Hüttenm. Jb., 85, S. 1-22, 33-49, Wien, 1937c.

MEIXNER, H.: Monazit, Xenotim und Zirkon aus Apatit führenden Pegmatiten des steirisch-kärntnerischen Altkristallins. - Z. Kristall. Miner. u. Petrogr., Abt. A., 99, S. 50-55, Leipzig, 1938.

MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde in den österreichischen Ostalpen. XII. - 110. Minerale (Apatit, Xenotim, Monazit, Zirkon, Biotit, Beryll, U-Mineral-Spuren, Granat usw.) aus dem Glimmerbergbau bei St. Leonhard auf der Saualpe, Kärnten. - Carinthia, II, 62, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 142, S. 30-35, Klagenfurt, 1952a.

MEIXNER, H.: Gadolinit und andere Berylliumminerale aus den Plattengneisbrüchen der Rauris (Salzburg), mit einer zusammenfassenden Übersicht über die alpinen Berylliumminerale. - Der Aufschluss, 27, S. 309-314, Göttingen, 1976.

MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXVIII. - Monazit-xx von der Saualpe, Kärnten (vgl. Meixner, 1961, S. 72). - Carinthia, II, 88, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 168, S. 83, Klagenfurt, 1978o.

MENZEL, M.: Zwei Lazulith-Fundstellen im Werfener Tonschiefer aus dem Salzburgischen (Österreich). - Der Aufschluß, 27 S. 206, Heidelberg, 1976.

MILAN, W.: Blauspat in Niederösterreich (Lazulith vom Stickelberg). – Karinthin, 43/44, S. 195-197, Klagenfurt, 1961.

MORTEANI, G., MÖLLER, P. & SCHLEY, F.: The rare earth element contents and the origin of the sparry magnesite mineralizations of Tux-Lanersbach, Entachen Alm, Spiessnägel, and Hochfilzen, Austria, and the lacustrine magnesite deposits of Ainani-Kozani, Greece, and Bela Stena, Yugoslavia. - Econ. Geol., 77, S. 617-631, Lancaster, 1982.

MRAZEK, R. & STRASSER, A.: Ce- und Be-Minerale im Weissental bei Böckstein. – Mineralobserver, 8, S. 117-118, Salzburg, 1984.

NIEDERMAYR, G.: Der Pegmatit von der Köngsalm, Niederösterreich. - Annalen Naturhist. Mus. Wien, 78, S. 49-54, Wien, 1969.

NIEDERMAYR, G.: Kainosit: Ein bemerkenswerter Fund von Kainosit aus dem Obersulzbachtal, Salzburg/Österreich. - Lapis, 5, S. 34, München, 1980.

NIEDERMAYR, G. & POSTL, W.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XIL. - 879. Lazulith aus einem Steinbruch südwestlich Falkenstein, Steiermark. - Carinthia, II, 102, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 182, S. 139, Klagenfurt, 1992.

NIEDERMAYR, G. & PRAETZEL, I.: Mineralien Kärntens. - Naturwiss. Ver. f. Kärnten, 232 S., Abb., Klagenfurt, 1995.

NIEDERMAYR, G. & STEFAN, F.: Ein interessanter Fund von Allanit-(Ce) aus dem Falkenbergtunnel in Klagenfurt, Kärnten. - Mineralien-Welt, 3/3, S. 55, Haltern, 1992.

NIEDERMAYR, G., BRANDSTÄTTER, F., LITSCHER, F. & MÖRTL, J.: Lanthanit, Mordenit und andere Mineralien aus dem Falkenbergtunnel in Klagenfurt, Kärnten/Österreich. - Mineralien-Welt, 4/4, S. 10-11, Haltern, 1993.

NOVAK, M. & CERNY, P.: Scandium in columbite-group minerals from LCT pegmatites in the Moldanubicum, Czech Republic. - Krystallinikum, 24, S. 73-89, Prag, 1998.

PFAFFL, F.: Ein neuer Fund von Samarskit bei Aigen (westliches Mühlviertel) in Oberösterreich. - Karinthin, 74, S. 224-225, Klagenfurt, 1976.

PFAFFL, F.: Die Schwermineralvorkommen in alluvialen Sanden des oberösterreichischen Mühlviertels. - OÖ. Geonachr., 18, S. 24-31, 2 Abb., Linz, 2003.

PFAFFL, F.: Die Mineralisationen aus Pegmatiten und Klüften der Granitmassive im westlichen Mühlviertel/Oberösterreich. - OÖ. Geonachrichten, 20, S. 26-28, Linz, 2005.

POSTL, W.: Gadolinit von der Legbachrinne, Habachtal (Salzburg). – Mineralobserver, 5, S. 42-43, Salzburg, 1981.

POSTL, W.: Vanadinit und Xenotim von der Talklagerstätte Rabenwald, Steiermark. - Mitt. Abt. Min. Landesmus. Joanneum, 55, S. 3-6, Graz, 1987b.

POSTL, W., BERNHARD, F. & BOJAR, W.: Neue Mineralfunde aus Österreich LVI. -1514) Amphibol, Apatit, Biotit, Calcit, Chlorit (Klinochlor und Fe-armer Klinochlor), Diopsid-Hedenbergit, Dolomit, Granat (Almandin, Grossular), Kalifeldspat, Kaolinit, Phlogopit, Plagioklas, Pyrit, Pyrrhotin, Quarz, Siderit, Synchisit-(Ce), Talk und Turmalin (Dravit, Schörl) aus dem ÖBB-Erkundungstunnel Leibenfeld bei Deutschlandsberg, Koralpe, Steiermark. - Carinthia, II, 117, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 197, S. 181-182, Klagenfurt, 2007.

POSTL, W. & BOJAR, W.: Neue Mineralfunde aus Österreich LI. - 1321) Apatit, Monazit-(Ce), Zirkon und Meta-Autunit aus dem Wildbachgraben bei Freiland, Koralpe, Steiermark. - Carinthia, II, 112, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 192, S. 238-239, Klagenfurt, 2002.

POSTL, W. & WALTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXXIII. - 578. Lazulith vom Kaltwasser südlich Stadl a. d. Mur/Steiermark. - Carinthia, II, 94, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 174, S. 254, Klagenfurt, 1984.

POSTL, W., WALTER, F. & ETTINGER, K.: Neue Mineralfunde aus Österreich LI. - 1320) Metatorbernit, Xenotim-(Y) und Zirkon aus einem Pegmatit nordöstlich des ehemaligen Steinbruchs „Schwemmhoisl", Burgegg, Koralpe, Steiermark. - Carinthia, II, 112, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 192, S. 237-238, Klagenfurt, 2002.

PREITE, D.: Fundstellen des seltenen Cer-Karbonats Synchisit in den Alpen. - Lapis, 17, S. 29-30, München, 1992.

PREITE, D.: Die Mineralien des Hopffeldbodens im Obersulzbachtal, Pinzgau (I). - Mineralien-Welt, 22, S. 68-78, Haltern, 2011.

PROCHASKA, W.: Geologie, Geochemie und Genese der ostalpinen Talklagerstätten. – Habilschrift. Montanuniv. Leoben, 5+253 Bl., ill., Leoben, 1988.
PROCHASKA, W.: Talk- und Leukophyllitbildung als Folge hydrothermaler Metasomatose. – Mitt. Österr. Geol. Ges., 78 (1985), S. 167–179, 4 Abb., 1 Tab., Wien, 1986.
PROCHASKA, W., HUBER, M. & BECHTEL, M.: Die alpidische Leukophyllitbildung am Alpenostrand. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 20, S. 37–52, 7 Abb., 3 Tab., Wien, 1997.
PUHL, J.: Vergleichende Petrologie und Geochemie von ultramafischen Massiven der Ostalpen. – Unveröff. Diss., Montanuniv. Leoben, 307 S., Leoben, 2000.
PUTZ, H.: Chernovit-(Y) aus den Plattenbrüchen im Rauriser Tal – ein Erstfund für das Bundesland Salzburg. - Mineralogisches Archiv Salzburg, 13, S. 274, Salzburg, 2010.
RIEGLER, G.: Chemismen und Th-U-Pb Modellalter akzessorischer Monazite aus kristallinen Bohrkernen des Weinviertels und ihre Bedeutung für das Verständnis der geologischen Situation am Ostrand der Böhmischen Masse. - Unveröff. Dipl. Arb., Univ. Salzburg, 72 S., 28 Abb., Salzburg, 2000.
ROETZEL, R.: Die Schwermineralführung niederösterreichischer Quarzsande und ihre wirtschaftliche Bedeutung: Endbericht 1983. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 93 S., 11 Abb., 36 Tab., 20 Beil., Wien, 1985.
ROETZEL, R. & KURZWEIL, H.: Die Schwerminerale in niederösterreichischen Quarzsanden und ihre wirtschaftliche Bedeutung. - Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 7, S. 199-216, Wien, 1986.
SCHEBESTA, K.: Hopffeldboden/Obersulzbachtal: die Mineralien der alpinen Klüfte vom Hopffeldboden. - Lapis, 7/1, S. 9-20, München, 1982.
SCHEBESTA, K.: Monazit und Xenotim aus Niederösterreich. – Lapis, 8, S. 30-42, München, 1983.
SCHEBESTA, K.: Neue Mineralien vom Hopffeldboden im Obersulzbachtal. - Lapis 11/4, S. 9-18, München, 1986.
SCHEDL, A., NEINAVAIE, H., BENOLD, CH., HOBIGER, G., PFLEIDERER, S. & WIMMER-FREY, I.: Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe (Potenziale Kritischer Rohstoffe II) – Jahresendbericht Proj. Ü-LG 67. - Unveröff. Bericht, Bibl. Geol. B.-A. / Wiss. Archiv, 167 S., 57 Abb., 16 Tab., 4 Anh., 1 Beil., Geol. B.-A., Wien, 2014.
SCHIMAK, F.: Synchisit aus dem vorderen Habachtal. - Mineralien-Welt, 21, S. 88, 2 Abb., Haltern, 2010.
SCHITTER, F. & FINGER, F.: Distribution of Trace Elements between Major and Accessory Minerals in a Moldanubian Quartz Monzodiorite from Lower Austria. - J. Czech Geol. Soc., 42, S. 47, Prag, 1997.
SCHROLL, E. & SAUER, D.: Ein Beitrag zur Geochemie der Seltenen Elemente in Bauxiten. – Acad. Yougosl. Sciences et Arts (Symposium sur les Bauxites, Oxydes et Hydroxydes d'Aluminium), Zagreb 1963, I, S. 201–225, Zagreb, 1964.
STOLL, W.: Gadolinit und andere Mineralien aus dem Tunnelausbruch in Böckstein. – Mineralogisches Archiv Salzburg., 9, S. 175, Salzburg, 2002.
STRASSER, A.: Wagnerit und Lazulith-xx vom Graulahnerkopf, Felbertal. - Mineralobserver, 1, S. 1-2, Salzburg, 1978.
STRASSER, A.: Die Minerale Salzburgs. - Eigenverlag (A. Strasser), 348 S., 350 Abb., Salzburg, 1989.
TAUCHER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich XLVI. - 1091. Lazulith, Kyanit, Muskovit und Chlorit mit Quarz aus dem Traibachgraben, Fischbacher Alpen, Steiermark. - Carinthia, II, 107, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 187, S. 202, Klagenfurt, 1997.
TAUCHER, J., HOLLERER, CH. E. & MOSER, B.: Freßnitzgraben bei Krieglach, Steiermark, Österreich, die Typuslokalität von Lazulith. - Matrixx, 4, S. 17-27, Graz, 1995.
TAUCHER, J.: Gorceixit, Svanbergit, Crandallit und Kaolinit neben Lazulith von Fischbach, Fischbacher Alpen, Steiermark, Österreich. - Matrixx, 4, S. 28-35, Graz, 1995.
THALMANN, F.: Metallische Rohstoffe, insbesondere Legierungs- und Seltene Erdmetalle mit Ausnahme von Pb-Zn Rohstoffen und den mit ihnen assoziierten Nebenelementen. - In: STERK, G. (Hrsg.): Rohstoffe für neue Technologien. - Schr. Österr. Akad. Wiss., Erdwiss. Komm., 11, S. 71-76, Wien, 1994.
TREITL, F.: Xenotim und Monazit von Amstall im Waldviertel. - Lapis, 9, S. 30-31, München, 1984.
UHLENDORF, H.: Neufunde von Synchisit. - Mineralien-Magazin, 7, H. 7, S. 315, 1983.
WALTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich LIX. - 1647. Monazit-(Ce), Synchisit-(Ce), Vanadinit, Wulfenit und Xenotim-(Y) vom Haderlingspitz, Muritzenkar, Lungau, Salzburg. - Carinthia, II, 120, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 200, S. 234-235, Klagenfurt, 2009.
WALTER, F.: Ferrocolumbit mit hohem Kationenordnungsgrad von der Spodumenpegmatitlagerstätte Weinebene, Koralpe, Kärnten. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, 59, S. 25-27, Graz, 1991.
WALTER, F.: Die Pegmatite des Millstätter See-Rückens. - Mitt. Österr. Min. Ges.,143, S. 437-450, Wien, 1998.
WALTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich LIX. - 1647) Monazit-(Ce), Synchisit-(Ce), Vanadinit, Wulfenit und Xenotim-(Y) vom Haderlingspitz, Muritzenkar, Lungau, Salzburg. - Carinthia, II, 120, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 200, S. 234-235, Klagenfurt, 2010.
WALTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich LIX. - 1643) Xenotim-(Y) aus der Euklaskluft vom Grießwies-Schwarzkogel, Hüttwinkltal bei Rauris, Salzburg. - Carinthia, II, 120, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 200, S. 230-231, Klagenfurt, 2010.
WALTER, F. & ETTINGER, K.: Neue Mineralfunde aus Österreich, LIII. - 1376. Euklas und Xenotim-(Y) von der Westseite des Ankogels. - Carinthia, II, 114, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 194, S. 240-241, Klagenfurt, 2004.
WALTER, F. & POSTL, W.: Calcio-Ankylit aus dem Kalcherkogeltunnel, Pack, Steiermark. - Mitt. Abt. Min. Landesmus. Joanneum, 51, S. 25-28, Graz, 1983a.

WALTER, F. & POSTL, W.: Über Montebrasit aus dem Pegmatitsteinbruch am Wolfsberg bei Spittal a. d. Drau, Kärnten. - Mitt. Österr. Min. Ges., 128, S. 47-50, Wien, 1983b.
WALTER, F. & POSTL, W.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXXII. - 547. Calcio-Ankylit aus dem Kalcherkogeltunnel, Pack, Steiermark. - Carinthia, II, 93, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 173, S. 356, Klagenfurt, 1983c.
WALTER, F. & TAUCHER, J.: Brasilianit vom Pegmatitsteinbruch am Wolfsberg bei Spittal an der Drau, Kärnten, Österreich. - Matrixx, 4, S. 69-73, Graz, 1995.
WALTER, F., TENNER, S., ETTINGER, K. & TAUCHER, J.: Zanazziit, Whitlockit, Crandallit, Millisit?, Zirkon, Galenit, Goethit und Lepidokrokot vom Pegmatit beim Laggerhof, Millstätter Seenrücken, Kärnten, Österreich. - Matrixx, 5, S. 42-49, Graz, 1996.
WEISS, S.: Gadolinit aus dem Gasteiner Tal. – Lapis, 28, S. 25, München, 2003.
WEIXELBERGER, G.: Beitrag zur Weißerdeprospektion im Nordostsporn der Zentralalpen (Niederösterreich und Steiermark). – Unveröff. Dipl.-Arb., Geol. Inst. Univ. Wien, (Kurzfass. In: Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 37), 118 S., ill., Ktn., Wien, 1991.
WENINGER, M.: Über Gehalte an Germanium, Zinn und anderen Spurenelementen in ostalpinen Graphiten und Talkgesteinen. - TMPM, III.F., 10, S. 475-490, Wien, 1965.
WENINGER, H.: Seltene Erden (SEE) in einigen Fluoriten der österreichschen Ostalpen. - TMPM, III.F., 27, (4), S. 267-273, 1 Abb., 1 Tab., Wien, 1980.
WENINGER, H.: Fergusonit. - Lapis, 6/7, S. 66-67, München, 1981.
WIESER, B.: Samarium-Neodym Datierung und Spurenelementanalysen an Scheelit aus der Au-(W) Lagerstätte Schellgaden/Salzburg. - Unveröff. Masterarb., Montanuniv., 163 S., Leoben, 2010.
WOLETZ, G.: Vorkommen von Rohstoffen für Kernspaltungszwecke in Sedimenten. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 15 S., Wien, 1957.
WÜNSCH, W.: Das geochemische Verhalten von Elementen – unter besonderer Berücksichtigung der Seltenen Erden – bei der Metamorphose, der Anatexis und der Granitisation. Dargestellt anhand von Beispielen aus dem Bayerischen Wald und dem Waldviertel. – Unveröff. Diss., Fak. Geowiss., Ludwig-Maximilians-Univ. München, 147 S., München, 1988.
ZAKI, M. R. & SCHROLL, E.: Spektrochemische Spurenanalyse auf Seltene Erden in Schwerspäten. - Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., 96, S. 162-165, Wien, 1959.
ZAPPEL, A.: Zirkon vom Hopffeldboden, Salzburg. – Der Aufschluss, 35, S. 207-208, Heidelberg, 1984.
ZAPPEL, A.: Die Aeschynite der Ostalpen. - Lapis, 11, S. 21-23, München, 1986.

5.3 Grafit

AIGNER, H., GRATZER, R. & SCHMID, CH.: Graphit-Prospektion Lärchkogel bei Hohentauern und Teichengraben bei Kalwang. - Mitt. Abt. Geol. u. Paläont. Landesmus. Joanneum, 48, S. 47-61, Graz, 1990.
ALBER, J.: Rohstoffpotential südliches Waldviertel / Dunkelsteinerwald, Proj. NC 9a, b. - Bibl. Geol. B.-A., Wiss. Arch., 186 S., 30 Beil., Wien, 1987a.
AMBRONN, R.: Bericht über elektrische Wechselstromuntersuchungen in den Grafit-Schurfgebieten der Erzhütte A.G. bei Persenbeug. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 43 S., Göttingen, 1939.
ANDREE, TH.: Der österreichische und bayerische Graphitbergbau. - Z. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. im preuss. Staate, 38, S. 269-270, Berlin, 1890.
AUSTROPLAN: Erfassung und Beurteilung des Rohstoffpotentials im nördlichen Waldviertel, NÖ.: Arbeitsbericht 1984 (Projekt NC 9/c F/84).- In: Rohstoffpotential Waldviertel-Nord, NÖ, Proj. NC 9/c F/84. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 80 Bl., 3 Tab., 3 Abb., 24 Anl., Wien, 1985.
AUSTROPLAN: Rohstoffpotential Waldviertel-Nord. Erfassung und Beurteilung des Rohstoffpotentials im nördlichen Waldviertel, NÖ. - Endbericht. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 207 S., 9 Abb., 20 Tab., 8 Blg., 5 Anl., Wien, 1989.
BARTH, K.: Expose über das Graphitvorkommen zwischen Wegscheid und Plessberg, Pötzles einerseits und zwischen Günzles und Wolfsbiegel andererseits. Mit Anhang. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., St. Pölten, 1926b.
BARTH, K.: Der Graphitbergbau Feistritz-Heiligenblut bei Pöggstall (NÖ). - Mont. Rdsch., 22, S. 379-380, Wien, 1930.
BARTH, K.: Bericht über den Grafitbergbau Feistritz - Heiligenblut bei Pöggstall des Herrn Karl Barth. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., 2 Abb., o. O., o.J.
BAUER, A.: Zur Kenntnis des steirischen Graphites. - Verh. Geol. R.-A., 1871/7, S. 114-115, Wien, 1871.
BAUER, F. & HOLZER, H.: Bericht über geologische Untersuchungen im Graphitbergbau Kaisersberg. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 5 S., 7 Diagr., Wien, 1963.
BAUER, O.: Die Mineralschätze Deutschösterreichs. Die Graphitgewinnung.- Montan-Zeitung, 28, S. 104-108, Graz, 1921.
BECKE, F.: Graphit im niederösterreichischen Waldviertel. - Mitt. Wr. Min. Ges., 80, S. 58-64, Wien, 1917.
BERAN, A., PERTLIK, F. & ZEMANN, J.: Graphit als Bestandteil des Biotitschiefervorkommens im Serpentinitzug des mittleren Kamptales, NÖ. - Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., 116, S. 14-15, Wien, 1979.
BERAN, A., FISCHER, R. & PICHLHÖFER, R.: Zur Mineralogie der Graphitlagerstätten des Moldanubikums in Österreich. - Fortschr. Miner., 63, Beih. 1, S. 21, Stuttgart, 1985.

BLASS, G. & GRAF, H. -W.: Neue Mineralfunde aus Österreich, L. - 1269. Vanadin enthaltender Muskovit aus der Graphitgrube am Weinberg bei Amstall, Niederösterreich. - Carinthia, II, 111, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 191, S. 170-171, Klagenfurt, 2001d.

BLUM, TH.: Vorläufiges Gutachten über das Grafitvorkommen im Metnitztal. - Unveröff. Gutachten (Landesmus. Kärnten), 5 S., Klagenfurt, 1918.

BONDKOWSKY, F.: Beschreibung des Vorkommens von Magnesit, Talkschiefer, Flinzgrafit, Arsenkies und Chromerzen in der Obersteiermark. - Unveröff. Ber., 45 S., o. O., 1934.

BONDKOWSKY, F.: Das Vorkommen von Chromerz, Arsenkies, Magnesit, Talkschiefer und Flinzgrafit am Hochgrößen, Gemeinde Oppenberg. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B. -A,), 3 S., Graz, 1935a.

BRANDSTÄTTER, F.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXXVI. - 674. Pumpellyit aus dem Graphitabbau von Trandorf bei Amstall, Niederösterreich. - Carinthia, II, 97, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 177, S. 308-309, Klagenfurt, 1987a.

CANAVAL, R.: Das Graphitvorkommen von Klammberg bei Feld am Brennsee nächst Radenthein in Kärnten. - Berg- u. Hüttenm. Jb., 71, S. 28-31, Wien, 1923a.

CANAVAL, R.: Das Graphitvorkommen von Klamberg bei Feld am See nächst Radenthein. - Carinthia, II, 34/35, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 114/115, S. 127, Klagenfurt, 1925b.

CZJZEK, F. V.: Leidensgeschichte des Grafitwerkes Röhrenbach. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 5 S., Wien, 1939.

DIETRICH, L.: Graphitvorkommen in Gaishorn, Obersteiermark. - Die Gießerei, 10, H. 41, S. 453-454, München, 1923.

DIETZE, J.: Die montangeologischen und bergtechnischen Verhältnisse des Graphitbergbaues bei Kaisersberg. - Unveröff. Staatsprüfungsarb., Mont. Hochsch. Leoben, 9 S., 3 Blg., Leoben, 1908.

DORN, P.: Geologische Studien im Passauer Graphitgneisgebiet. - Z. Dt. Geol. Ges., 87, S. 632-650, Hannover, 1935.

EXEL, R.: Die Mineralien und Erzlagerstätten Österreichs. Mit Lexikon der Mineralien Österreichs. - Eigenverlag Dr. Reinhard Exel, Wien, 447 S., Wien, 1993.

EXEL, R.: Neuerkenntnisse zur Geologie und Mineralführung der Loja bei Persenbeug im südwestlichen Waldviertel (Moldanubikum der Böhmischen Masse, Niederösterreich) mit einem Beitrag zur Geschichte der Steinbrüche und des ehemaligen Grafitbergbaues. - Jb. Geol. B.-A., 148, S. 15-56, Wien, 2008.

EXEL, R.: Die Mineralien der Loja bei Persenbeug im südwestlichen Waldviertel, N.Ö. - MEFOS, 34, S. 4-30, Wien, 2008.

FELBER, J.: Geologische Studien in der Kropfmühl-Serie: Beiträge zur Geochemie und Petrographie einer moldanubischen Bunten Gruppe in Ostbayern (Passauer Wald, Niederbayern) unter besonderer Berücksichtigung der Genese graphitführender Metamorphite. – Diss. Univ, München, 236 S., München, 1987.

FRIEDRICH, O. M.: Über den Aufbau und das Gefüge steirischer Graphite. - Berg- u. Hüttenm. Jb., 84/3, S. 131-137, 14 Abb., Wien, 1936e.

FRIEDRICH, O. M.: Äußerung über das Gefüge und den Mineralbestand von Graphitstufen von Röhrenbach, Niederdonau. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 1 S., Leoben, 1938c.

FUCHS, G.: Das Graphitvorkommen von Herzogsdorf im Mühlviertel (OÖ, Blatt Linz der 1:50.000 Karte). - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., 2 Ktn., Wien, 1961.

FUGLEWICZ, J.: Gutachten über den der Niederösterreichischen Grafitwerke Ges.m.b.H., Wien gehörenden Grafitbergbau Fürholz bei Persenbeug und den der Felixdorfer Chemischen Industrie A.G. gehörigen Grafitbergbau Rothenhof bei Persenbeug. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 13 S., 1 S. Nachtrag, Leoben, 1938a.

GOLDMANN, C.: Grafitvorkommen in Niederösterreich: Geologie und Genese. - MEFOS, 33, S. 16-24, 4 Abb., Wien, 2007.

GOLDMANN, C. & LÖFFLER, E.: Die Mineralienfundstellen des Graphitbergbaues Amstall, Niederösterreich. - MEFOS, 35, S. 4-34, Wien, 2008.

GRAFITBERGBAU KAISERSBERG: Bergwerksberechtigung Grafitbergbau Wald der Grafitbergbau Kaisersberg Franz Mayr-Melnhof & Co, Löschungsverfahren. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 5 S., 4 Anlagen, Kaisersberg, 1984.

HADITSCH, J. G.: Gutachterlicher Bericht über einige Hoffnungsbereiche in der Umgebung der 3. Sohle des Hochschurf - Reviers (Graphitbergbau Sunk/Hohentauern). - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., Leoben, 1961b.

HADITSCH, J. G.: Gutachterlicher Bericht über eine geologisch - tektonische Aufnahme der 3. Sohle des Hochschurf - Reviers (Graphitbergbau Sunk/Hohentauern). - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 24 S., 17 Abb., 9 Blg., Leoben, 1961c.

HAMMER, W.: Beiträge zur Kenntnis der steirischen Grauwackenzone. - Jb. Geol. B.-A., 74, S. 1-34, Wien, 1925.

HAUSWIRTH, E. K.: Projekt Flinzgraphit. - Eigenpotetialmessungen. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., 27 Beil., Wien, 1979.

HEINZ, H., THIELE, O., HAUSWIRTH, E. K., SPAZEK, H. & SCHERMANN, O.: Endbericht 1979 für das Projekt O-A-006/79: Prospektion auf Flinzgraphit im Raum Aigen im Mühlkreis - Ulrichsberg. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 6 S., 7 Beil., Wien, 1979.

HEINZ, H., MEYER, J. & SEIBERL, W.: Aufsuchung von Graphitvorkommen mittels aktiver und passiver elektrischer Methoden im Bereich der "Bunten Serie" (Waldviertel, Niederösterreich). - Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 5, S. 35-39, Wien, 1984.

HENGSTBERGER, H.: Graphitvorkommen in Taubitz. - Aus der Heimat, 2/4, S. 13, Krems, 1963.

HIESSLEITNER, G.: Zur Aufschlußlage des Grafitbergbaues Rottenhof. - 3 S., 1 Abb., Wien, 1938a.

HIESSLEITNER, G.: Bericht über die vorläufigen Ergebnisse einer Untersuchung des Grafitvorkommens Rottenhof bei Persenbeug an der Donau, NÖ. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 9 S., Graz, 1938b.

HIMMELBAUER, A.: Geologisches Gutachten über die Graphitvorkommen zwischen Krumau am Kamp und Brunn an der Wild. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), Wien, 1923.
HIMMELBAUER, A.: Besichtigung des Graphitwerkes Röhrenbach bei Horn. - Mitt. Wr. Min. Ges., 87, u. TMPM, 37, S. 12, (TMPM, S. 207-208), Wien, 1926/27.
HIMMELBAUER, A.: XI. Beiträge zur Mineralogie Niederösterreichs. - Minerale der Graphitlagerstätte Röhrenbach. - Minerale des Magnesitbruches Eichberg am Semmering. - TMPM, N.S., 37, H. 3-6, S. 207-208, Wien, 1927.
HOERNES, R.: Der Metamorphismus der steirischen Graphitlagerstätten. - Mitt. Naturwiss. Ver. F. Steiermark, 36, S. 90, Graz, 1900.
HOERNES, R.: Der Metamorphismus der obersteirischen Graphitlager. - Mitt. Naturwiss. Ver. f. Steiermark, 37, S. 90-131, Graz, 1901.
HÖLLER, H.: Ein Graphitpegmatit vom Hirnkogel bei Pusterwald (Steiermark). - Mitt. Naturwiss. Ver. f. Steiermark, 94, S. 86-91, Graz, 1964.
HOFBAUER, R.: Neue Graphitbergbaue im niederösterreichischen Waldviertel. - Montan Rdsch., 10, H. 4, S. 82-84, Wien, 1962.
HOFBAUER, R.: 36 Jahre Graphitabbau der Firma Industrie & Bergbaugesellschaft Pryssok & Co. K.G. im niederösterreichischen Waldviertel. - Res montanarum, 11, S. 28-31, Leoben, 1995.
HOHN, M.: Grafitbergbau Mühldorf in NÖ. - Mefos, 18/33, S. 4-15, Wien, 2007.
HOLZER, H.: Geologische Beobachtungen an niederösterreichischen Graphitlagerstätten. - Verh. Geol. B.-A., 1961, S. 90-98, 2 Abb., Wien, 1961a.
HOLZER, H.: Bericht über die Befahrung des Graphitvorkommens Wollmersdorf. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Wien, 1962c.
HOLZER, H.: Bericht über die Befahrung des Graphitbergbaues Sunk/Trieben am 28.3.1962. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Wien, 1962g.
HOLZER, H.: Graphit/Sunk bei Trieben, Steiermark: Revier Hochschurf. Befahrung am 9.4.1963 zusammen mit Obersteiger Heinrich. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 1 S., Wien, 1963e.
HOLZER, H.: Niederösterreichische Graphitlagerstätten (Exkursion II / 3). - Mitt. Geol. Ges. Wien, 57, S. 163-168, 1 Taf., Wien, 1964a.
HOLZER, H.: Die Flinzgraphitvorkommen im außeralpinen Grundgebirge Ober- und Niederösterreichs. - Verh. Geol. B.-A., 1964/2, S. 360-371, Wien, 1964b.
HOLZER, H.: Bericht über geologische Aufnahmen im Graphit-Schurfgebiet zwischen Hartel- und Preßnitzgraben, Steiermark. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., Wien, 1965b.
HOLZER, H.: Befahrungsbericht über Graphitspuren NE Kallwang, Steiermark. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Wien, 1966c.
HOLZER, H.: Österreichischer Graphit. - In: Schätze aus Österreichs Boden. - Notring-Jahrbuch Verlag, S. 85-86, Wien, 1966d.
HOLZER, H.: Bericht über geologische Arbeiten im Gips- und Graphitbergbau. - Berg- u. Hüttenm. Mh., 112, S. 182-184, 1 Abb., Wien, 1967a.
HOLZER, H. F.: Wirtschaftlich bedeutende Mineralrohstoffe in Niederösterreich (Ergänzung des Berichtes der Fa. Austromineral aus dem Jahr 1977), Proj. N-A-021/80- Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 20 Bl., 8 Beil., Leoben, 1983a.
HOLZER, H. F. & PROCHASKA, W.: Endbericht zum Projekt "Geochemische Untersuchungen von Graphitschiefern" und Erstellung von Prospektionsparametern in Zusammenhang mit deren Sedimenten und Böden (Proj. NA 33/84). - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 14 S., 9 Abb., 2 Tab., Wien, 1985.
HOLZER, H. & WIEDEN, P.: Über Halloysit aus der Graphitlagerstätte Wegscheid bei Mühldorf (NÖ). - Verh. Geol. B.-A., 1966, S. 47-52, Wien, 1966.
HOLZER, H. & ZIRKL, E.: Weitere Mitteilungen über niederösterreichische Graphitlagerstätten. - Verh. Geol. B.-A., 1962, 2, S. 316-330, Wien, 1962.
HOLZER, H. & ZIRKL, E.: Über einige weitere niederösterreichische Graphitlagerstätten. - Verh. Geol. B.-A., 1963, S. 79-91, 2 Abb., Wien, 1963.
JANDA, I.: Beitrag zur Geochemie des Graphites. - Unveröff. Diss., Univ. Wien, 112 S., Wien, 1959.
JANDA, I. & SCHROLL, E.: Über Quecksilberspuren in Graphiten. - Experientia, XV / 4, S. 125, Basel, 1959.
JANDA, I. & SCHROLL, E.: Geochemische Untersuchungen an Graphitgesteinen. - Intern. Geol. Congr., Norden, Pt. I, 21 sr. Sess., S. 40-53, Copenhagen, 1960.
JANOSCHEK, W.: Bericht über eine Übersichtskartierung auf Graphit im Raume S Luden - Drosendorf. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 6 S., 1 Kte. 1:25.000, Wien, 1965.
JAROLJMEK, A.: Amtsbericht des Oberbergrates Ing. Dr. August Jaroljmek über die Besichtigung des Grafitschurfbaues des Herrn Ing. Anton Rosmini in Lassing bei Rottenmann am 23. April 1928. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Leoben, 1928a.
JAROLJMEK, A.: Amtsbericht des Oberbergrates Ing. Dr. August Jaroljmek über die Besichtigung des Grafitschurfbaues des Herrn Ing. Anton Rosmini in Lassing bei Rottenmann am 21. Dezember 1928. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Leoben, 1928b.

JAROLJMEK, A.: Amtsbericht des Oberbergrates Ing. Dr. August Jaroljmek über sie Besichtigung des Grafitschurfbaues des Herrn Ing. Anton Rosmini in Lassing bei Rottenmann am 17. Juli 1931. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 1 S., Leoben, 1931.
JOHN, C. v.: Über steirische Graphite. - Verh. Geol. R.-A., 1892, S. 413-418, Wien, 1892a.
KAMMEL, K.: Die niederösterreichischen Graphite und ihre Lagerstätten. - Mont. Rdsch., 19, S. 647-650, Wien, 1927.
KITZLER, F.: Graphit und Eisen. 1. Teil. - Waldviertler Kurier, Bez. Zwettel, 22, S. 20-28, 13 Abb., Zwettel, 1981.
KITZLER, F.: Graphit und Eisen. 2. Teil. - Waldviertler Kurier, Bez. Zwettel, 24, S. 45-49, 10 Abb., Zwettel, 1982.
KITZLER, F.: Graphit im Raum Kottes. - Waldviertler Kurier, Bez. Zwettel, 29, S. 17-23, 9 Abb., Zwettel, 1984b.
KLAR, G.: Die wichtigsten Graphitvorkommen der Welt. - Erzmetall, 10/6, S. 294-297, 2 Tab., Stuttgart, 1957a.
KLAR, G.: Die wichtigsten Graphitvorkommen der Welt. - Montan Rdsch., 5, H. 12, S. 325-329, Wien, 1957b.
KLAR, G.: Graphit in der Weltwirtschaft. - Montan Rdsch., 9, Sonderh., Steine und Erden, S. 151ff, Wien, 1961.
KLAR, G.: Geschichtlicher Rückblick auf die Grafitbergbaue Kaisersberg-Leims und Hohentauern. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., Blg., o. O., 1963.
KLAR, G.: Steirische Graphite. - Styria, 149 S., Graz, 1964.
KLATZER, M. F.: Kärntner Grafit. - Carinthia, 51, S. 38-39, Klagenfurt, 1861a.
KNAPITSCH, A.: Amtsbericht des Bergrates Ing. Dr. Adolf Knapitsch über die Besichtigung des Grafitschurfbaues des Herrn Ing. Anton Rosmini in Lassing bei Rottenmann am 28. August 1928. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Leoben, 1928c.
KÖHLER, A.: Graphit in Orthogesteinen von Niederösterreich. - Verh. Geol. B.-A., 1925, S. 159, Wien, 1926.
KÖHLER, A.: Die Graphitvorkommen Österreichs. - Natur u. Technik, 2, S. 104-106, Wien, 1948.
KUTTNER, T.: Expose über die Graphitvorkommen in den Gemeindegebieten von Elsenreith, Merkengerst, Reichpolds, Pöltzles und Singenreith (Ger.-Bez. Ottenschlag, Bez.-Hauptmannschaft Pöggstall) und Trandorf und Amstall (Ger. -Bez. Spitz, pol. Bez. Krems a/d Donau). - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 6 S., o. O., o. J.
LACKENSCHWEIGER, H.: Bericht über die Begehung des Grubenfeldes "Eintracht" auf Graphit in der Catastralgemeinde Rassthal Ortsgemeinde Kathrein an der Laming. - Unveröff. Manuskript (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., Leoben, 1924b.
LECHNER, K.: Gutachten über das Graphitvorkommen in Kirchschlag bei Ottenschlag. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., Wien, 1949a.
LECHNER, K.: Das Grafitvorkommen Feistritz - Hl. Blut in Niederösterreich. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., Wien, 1949b.
LECHNER, K.: Befahrung des Graphitbergbaues Hohentauern bei Trieben am 28.6.1950. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Wien, 1950f.
LECHNER, K.: Befahrung des Grafitbergbaues Kaisersberg am 29. 6. 1950. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., Wien, 1950g.
LEX, W.: Die Schwarzenberg'schen Grafitwerke zu Schwarzbach in Böhmen und Wappoldenreith in Niederösterreich. B. Der Schwarzenberg'sche Grafitbergbau bei Wappoldenreith in Nieder-Österreich. - M. Schulz A. G., Prag VII, 20 S., 5 Abb., Schwarzbach, 1929.
LÖFFLER, E. & KOLITSCH, U.: Die Mineralien der Loja bei Persenbeug, Niederösterreich (I). - Mineralien-Welt, 22/3, S. 72-84, 25 Abb., Haltern, 2011.
LÖFFLER, E. & KOLITSCH, U.: Die Mineralien der Loja bei Persenbeug, Niederösterreich (II). - Mineralien-Welt, 22/4, S. 51-62, 22 Abb., Haltern, 2011.
MATTHIASS, E. P. & BUDIN, F. J.: Geologisch-tektonische Grubenaufnahme der Graphitlagerstätte Sunk bei Trieben. - Unveröff. Dipl. Arbeit, Mont. Hochsch. Leoben, 61 S., 1 Kte., Leoben, 1952.
MATTHIASS, E. P. & BUDIN, F.: Die Graphitlagerstätte Sunk bei Trieben in der Steiermark. - Berg- u. Hüttenm. Mh., 99, S. 95-99, Wien, 1954.
MAURITSCH, H. J.: Geophysikalische Prospektion auf Graphit im Revier Hochadler bei St. Lorenzen im Paltental. - Unveröff. Ber. (Arch. Mus. Joanneum, Abt. Geol. u. Paläont.), 4 S., 2 Blg., Graz, 1980.
MAURITSCH, H. J.: Geophysikalische Prospektion auf Graphit im Revier Hochadler bei St. Lorenzen im Paltental. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, Themenh. Steirische Rohstoffreserven, Bd. 2, H. 42, S. 83-86, 2 Abb., Graz, 1981b.
MAYRHOFER, R.: Graphit aus der Stmk. - Universum, 20/1, S. 31-34, Wien, 1964.
MEIXNER, H.: Die Vorkommen von Korund in Österreich. - Mineraliensammeln in niederösterreichischen Graphitlagerstätten. - Karinthin, 49, S. 39-44, Klagenfurt, 1963a.
MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde in den österreichischen Ostalpen. XXIII. - 265. Xenotim aus der Graphitlagerstätte Amstall / Mühldorf, Niederösterreich. - Carinthia, II, 78, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 158, S. 111, Klagenfurt, 1968a.
MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde in den österreichischen Ostalpen. XXIV. - 306. Monazit-xx aus dem Graphit von Trandorf, Niederösterreich. - Carinthia, II, 83, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 163, S. 128-129, Klagenfurt, 1973b.
MEIXNER, H.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXXI. - 523. Zur Mineralisation in den Graphitlagerstätten um Amstall (Trandorf / Elsenreith) bei Spitz an der Donau, NÖ. - Carinthia, II, 91, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 171, S. 50-51, Klagenfurt, 1981a.

MEYER, J.: Vorschläge für die bodenphysikalische Erkundung von Grafitvorkommen im südlichen Waldviertel. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), Wien, 1983.
MOHR, H.: Über die Entstehung einer gewissen Gruppe von Graphitlagerstätten. - Berg- u. Hüttenm. Jb., 68, S. 111-145, Wien, 1920a.
MÜLLER, N. L., BOSCHI, P., BOSCHI, M., MELCHER, F., RANTITSCH, G., TSCHARF, A., PROCHASKA, W. & MEISEL, TH.: The graphite mine of Zettlitz, Drosendorf (Bohemian Massif, Austria).- GeoTirol 2016: Annual Meeting DGGV: 25-28 September 2016, Innsbruck, Austria: Abstract Volume (2016), S. 227, Innsbruck, 2016.
MÜLLER, N. L.: Die Grafitlagerstätte Zettlitz - Geologische Bearbeitung des Rohstoffvorkommens. – Unveröff. Masterarb., Montanuniv. Leoben, 113 S., 2 Anh., Leoben, 2016.
N. N.: Graphitvorkommen bei Horn in Niederösterreich. - Montan-Zeitung, 31, S. 108, Graz, 1924b.
N. N.: Grafitbergbau im Waldviertel. - Waldviertler Zeitung (Beil. zu Kremser Zeitung), 55/13, S. 10, Krems, 1924c.
N. N.: Neues über den Grafitbergbau im Waldviertel. - Waldviertler Zeitung (Beil. zu Kremser Zeitung), 55/37, S. 9, Krems, 1924d.
N. N.: Aktennotiz über die Kommissionierung des Grafitwerkes Röhrenbach am 13. Juli 1938. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 8 S., Wien, 1938b.
N. N.: Gutachten über den im Verwaltungsbezirke Horn, Gau Niederdonau, gelegenen Grafitbergbau Röhrenbach. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 10 S., Leoben, 1939a.
N. N.: Geochemie Graphitschiefer. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), o. O., 1984a.
N. N.: Lagerstättenaufschluß Trandorf, Vorkommen VII NA 35. Auftragnehmer: Pryssok. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), o. O., o.J.
N. N.: Graphitbergbau Trandorf, Aufschluß eines neuen Bergbaues NA 35/F. Auftragnehmer: Pryssok. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), o. O., o.J.
N. N.: Bericht über Beobachtungen an Anschliffen von Persenbeuger Graphiten (Anschliffe und Lichtbilder von H. Bysanz). - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., 5 Phot., o. O., o.J.
N. N.: Neues Graphitlager aufgeschlossen. - Montan-Zeitung, 24/5, S. 38, Graz, 1917b.
N. N.: Österreichische Graphite. Von besonderer Seite. - Bergb., Bohrtechn. - u. Erdöl-Ztg., 64/5, S. 10-11, Wien, 1948a.
N. N.: Graphitbergbau Kaisersberg. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Kaisersberg, 1954i.
NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXXIII. - 577. Variscit, Metavariscit und Gibbsit von Trandorf sowie Gibbsit vom Weinberg bei Amstall, Niederösterreich. - Carinthia, II, 94, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 174, S. 253-254, Klagenfurt, 1984c.
NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XXXIV. - 606. Crandallit, Halloysit und Metahalloysit aus dem ehemaligen Graphitbergbau bei Trandorf, Niederösterreich. - Carinthia, II, 95, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 175, S. 247, Klagenfurt, 1985d.
NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XLV. - 1028. Crandallit und Variscit aus dem Graphitabbau Amstall, Niederösterreich. - Carinthia, II, 106, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 186, S. 141, Klagenfurt, 1996e.
NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich, XLVII. - 1128. Fibroferrit, Huntit, Prehnit und Türkis von Amstall / Trandorf, Niederösterreich. - Carinthia, II, 108, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 188, S. 245, Klagenfurt, 1998b.
NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich, LI. - 1307. - Aragonit und Huntit aus dem alten Graphitbergbau Raintal bei Wolfstein im Dunkelsteiner Wald, Niederösterreich. - Carinthia, II, 112, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 192, S. 229, Klagenfurt, 2002b.
NIEDERMAYR, G.: Neue Mineralfunde aus Österreich, LII. - 1328. Hydronium-Jarosit ("Karohiosiderit") aus dem ehemaligen Graphitbergbau am Weinberg bei Amstall, Niederösterreich. - Carinthia, II, 113, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 193, S. 200-201, Abb. 7, Klagenfurt, 2003d.
PAAR, W. H.: Neue Mineralfunde aus Österreich XIIL. - 925. Bi-Meneghinit vom Graphitbergbau Kaisersberg bei St. Stefan ob Leoben, Steiermark. - Carinthia, II, 103, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 183, S. 283-284, Klagenfurt, 1993b.
PAUL, K. M.: Das Graphitvorkommen im Paltentale bei Rottenmann in Steiermark. - Verh. Geol. R.-A., 1872, S. 169-172, Wien, 1872.
PEER, H.: Die Graphitlagerstätte Trieben/Stmk. - Unveröff. Ber. (Arch. Mus. Joanneum, Abt. Geol. u. Paläont.), 12 Bl., 19 Abb., 1 Kte. 1:10.000, Leoben, 1980b.
PICHLHÖFER, R.: Montangeologische Untersuchungen der Graphitlagerstätte Weinberg bei Amstall in Niederösterreich. - Unveröff. Dipl. Arbeit, Montanuniv. Leoben, 135 S., 23 Ktn., Leoben, 1985.
PIRKL, H.: Bericht über die Obertagskartierung im Bereich des Graphitbergbaues Sunk/Trieben. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., 1 Abb., 1 Kte., Wien, 1972c.
PIRKL, H.: Bericht über geologische Obertagsaufnahmen im Bereich des Graphitbergbaues Trieben-Sunk, 10.5. - 13.5.1976. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., 3 Blg., Wien, 1976c.
PIRKL, H.: Lagerstättenkundlicher Bericht 1976 über Untersuchungen beim Bergbau Sunk/Trieben auf Blatt 130 Oberzeiring. - Verh. Geol. B.-A., 1977, S. A113-A114, Wien, 1977d.
POSTL, W.: Neue Mineralfunde aus Österreich XIIIL. - Pyrophyllit von der Graphitlagerstätte Kaisersberg bei St. Stefan ob Leoben, Steiermark. - Carinthia, II, 104, Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., 184, S. 263-264, Klagenfurt, 1994a.

POSTL, W.: Pyrophyllit und Dickit aus der Graphitlagerstätte Kaisersberg bei St. Stefan ob Leoben, Steiermark. - Der Steirische Mineralog, 5/8, S. 26-27, Graz, 1994b.
PÖCHMANN, F.: Exposé über das Graphitwerk in Röhrenbach bei Horn, NÖ. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 7 S., Röhrenbach, 1937a.
PÖCHMANN, F.: Exposé über das Graphitvorkommen in der Gemeinde Elsenreith und Umgebung sowie am Weinberg in den Gemeinden Trandorf und Amstall bei Spitz an der Donau. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), Wien, 1937b.
PÖCHMANN, F.: Nachtrag zu den Exposes von Direktor Kuttner und Ing. Barth über das Graphitvorkommen am Weinberge bei Amstall. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Röhrenbach, 1937c.
PÖCHMANN, F.: Das Graphitvorkommen im Waldviertel, seine Geschichte und Verwertung. - Mont. Rdsch., 30, Tägl. Montanberichte, 29, 31, 4 S., Wien, 1938a.
POLEGEG, S., HÜBEL, G. & JAHN, E.: Beurteilung von Graphitvorkommen im Waldviertel. - Endbericht. FREN Projekt NA 29. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 24 Bl., 6 Abb., 1 Beil. Bd., Leoben, 1987.
PREINDELSBERGER, J.: Die Graphite in Niederösterreich. - Wochenschrift niederösterr. Gewerbe-Verein, 27, S. 209-212, 227-228, Wien, 1866.
PREININGER, F. & KARAGIANIDIS, V.: Montangeologische Bearbeitung der Graphitlagerstätte "Wegscheid" bei Mühldorf im niederösterreichischen Waldviertel. - Unveröff. Dipl. Arbeit, Montanuniv. Leoben, 62 S., 2 Ktn., 1 Skizze, 5 Prof., 20 Photos, Leoben, 1965.
PROCHASKA, W.: Endbericht zum Projekt "Geochemische Untersuchungen von Graphitschiefern" und Erstellung von Prospektionsparametern in Zusammenhang mit deren Sedimenten und Böden. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 14 S., 9 Abb., 1 Tab., Blg., Wien, 1985b.
PRYSSOK, M.: Die Graphitwirtschaft in Niederösterreich. - Unveröff. Dipl. Arbeit, Hochsch. f. Welthandel Wien, Wien, 1965.
PURTSCHER, E.: Apatitkristalle im Graphit von Trandorf, Niederösterreich. - Karinthin, 51, S. 110, Klagenfurt, 1964.
RAITH, J. G. & VALI, H.: Fibrous chlorite and muscovite from the Kaisersberg graphite mine, Styria, Austria. - The Canadian Mineralogist, 36/3, S. 741-754, o. O., 1998.
RAITH, J. G. & POSTL, W.: "Asbest" aus der Graphitlagerstätte Kaisersberg und von Leimsgraben bei Mautern, Steiermark, Österreich. - Joannea - Mineralogie, 1, S. 65-86, Graz, 2000.
RANTITISCH, G.: Mikrostrukturelle Untersuchungen an natürlichen Grafiten - Teilprojekt für das Schwerpunktprojekt "Erhöhung der Wertschöpfung bei Industriemineralen": Endbericht. – Unveröff. Ber., 19 S., 5 Abb., 3 Tab., Leoben, 2006.
RANTITISCH, G., BECHTEL, A. & BOJAR, A.V.: Die Kohlenstoffisotopen-Zusammensetzung der Graphite und Semi-Graphite der östlichen Grauwackenzone (Ostalpen, Österreich) = The isotopic composition of graphite and semi-graphite in the eastern Greywacke Zone (Eastern Alps, Austria). - Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark, 150, S. 29-44, Graz, 2010.
RANTITISCH, G., GROGGER, W., TEICHERT, C., EBNER, F., HOFER, C., MAURER, E, M., SCHAFFER, B. & ZOTH, M.: Conversion of carbonaceous material to graphite within the Greywacke Zone of the Eastern Alps. – Intern. J. of Earth Sciences, S. 959-973, Berlin, 2004.
RATSCHBACHER, L.: Strukturgeologische Grundlagenforschungsaspekte als Prospektions- und Abbaurichtlinien am Beispiel Graphitbergbau Sunk / Trieben (Paltental, Steiermark). - Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 6, S. 81-84, Wien, 1985.
REDLICH, K. A.: Der Metamorphismus der obersteirischen Graphitlagerstätten. - Österr. Z. Berg- u. Hüttenw., 49/30, S. 403-404, Wien, 1901b.
REIFMÜLLER, A.: Die Graphitvorkommen Niederösterreichs. - Mont. Rdsch., 29/22, 3 S., Wien, 1937.
REIFMÜLLER, A.: Die Graphite des Waldviertels. Historisches, Vorkommen, Gewinnung und Verarbeitung. - Das Waldviertel, 11, S. 6-8, S. 15-17, Waidhofen / Thaya, 1938.
REIFMÜLLER, A.: Graphitbergbau im Waldviertel. - Waldviertler Heimat, 7-8, S. 102-119, Krems, 1953.
REIFMÜLLER, A.: Der Graphitbergbau in Mühldorf. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 41 S., 1 Kte. 1:1000, Mühldorf, 1975.
RICHTER, O.: Expose über die Graphitvorkommen in den Gemeindegebieten von Elsenreith, Merkengerst, Pöltzles, Ernst und Singenreith des pol. Bezirkes Pöggstall und der Gemeinden Trandorf und Amstall des pol. Bezirkes Krems a. D. in NÖ. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., o. O., o. J.
RICHTER, W.: Gutachten (Fotationsrückstände Trandorf). - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Wien, 1965.
RIEDEL, J.: Das Korundvorkommen im Graphit von Trandorf / Weinberg, NÖ. - Karinthin, 49, S. 37-38, Klagenfurt, 1963.
RIEDEL, R.: Graphit in der Wachau. - Waldviertler Heimat, 2, S. 123-127, Krems, 1953.
RÖSNER: Freischürfe auf Graphit in Oberaich. - Unveröff. Brief (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., o.O., 1968.
SANTO-PASSO, O.: Über die Befahrung des Tafler´schen Graphitbergbaues in St. Lorenzen bei Trieben. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 15 S., Wien, 1929a.
SANTO-PASSO, O.: Bericht des Ministerialrates Dr. Otto Santo-Passo über die Befahrung des Graphitbergbaues der Steirischen Montanwerke des Franz Mayr-Melnhof und Erben nach Rudolf von Melnhof in Kaisersberg. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 42 S., 5 Blg., Wien, 1929b.
SANTO-PASSO, O.: Bericht des Ministerialrates Ing. Dr. Otto Santo-Passo über die Befahrung des Tafler´schen Graphitbergbaues in St. Lorenzen bei Trieben vom 5. November 1929. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 15 S., Wien, 1929c.
SANTO-PASSO, O.: Bericht des Ministerialrates Dr. Otto Santo-Passo über die Befahrung des Graphitbergbaues Trieben bei St. Lorenzen. - Unveröff. Ber., 7 S., Wien, 1929d.

SANTO-PASSO, O.: Bericht des Ministerialrates Dr. Otto Santo-Passo über die Befahrung des Graphitbergbaues Hohentauern in Sunkgraben bei Trieben am 6. November 1929. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 21 S., o. O., 1929e.
SANTO-PASSO, O.: Bericht des Ministerialrates Dr. Otto Santo-Passo über die Befahrung des Graphitbergbaues Trieben bei St. Lorenzen und der dazugehörigen Aufbereitungsanlagen in Trieben der Chemischen Werke Brockhues A.G. in Niederwalluf am Rhein bzw. [...] 5.11.1929. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 7 S., Wien, 1929f.
SAUER, O.: Die Mineralschätze Deutschösterreichs. Die Graphitgewinnung. - Montan-Zeitung, 28, S. 104-108, Graz, 1921c.
SCHADLER, J.: Graphit- und Talkvorkommen im Mühlviertel und Sauwald. - Unveröff. Karte (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 1 Kte, Linz, 1949a.
SCHADLER, J.: Graphitvorkommen Herzogsdorf in Oberösterreich. - Unveröff. Karte (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 1 Kte, o. O., 1949b.
SCHAICH, E.: Die Hebung der Bodenschätze des Waldviertels in früherer Zeit. (Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Stein- und Brankohle, Graphit). - Das Waldviertel, 4/7, S. 8-10, Waidhofen / Thaya, 1931a.
SCHARFE, G. P.: Interimsbericht über die im Jahr 1977 im Rahmen des steirischen Rohstoff-Forschungsprojektes durchgeführten Untersuchungen über "Graphitvorkommen der Steiermark" exclusive Kaiserberg und Sunk. - Unveröff. Ber. (Arch. Mus. Joanneum, Abt. Geol. u. Paläont.), 11 S., Graz, 1978.
SCHARFE, G. P.: Bericht über geologische Begehungen in der Umgebung des Hochadler-Grubenfeldes im Rahmen des Steirischen Rohstoff-Forschungsprojektes. - Steierm. Landesreg. Rohstoffproj. (Arch. Mus. Joanneum, Abt. Geol. u. Paläont.), 31 Bl., 7 Blg., Graz, 1979.
SCHARFE, G. P.: Steirische Graphitvorkommen. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, Themenh. Steirische Rohstoffreserven, 42/2, S. 117-122, Graz, 1981.
SCHEBESTA, K.: Monazit und Xenotim aus Niederösterreich. - Lapis, 8, S. 30-42, 2 Abb., München, 1983.
SCHERMANN, O.: Projekt "Flinzgrafit Ulrichsberg". Zwischenbericht. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 1 S., Wien, 1978.
SCHERMANN, O., HEINZ, H., THIELE, O., HAUSWIRTH, E. K. & SPAZEK, H.: Prospektion auf Flinzgrafit im Raum Aigen im Mühlkreis-Ulrichsberg. - Endbericht für das Projekt O-A 6/79. - Projekt OA 6/79, Geol. B.-A., 6 S., 7 Beil., Wien, 1979.
SCHERMANN, O. & THIELE, O.: Bericht über die Methodik der Graphitprospektion. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 6 S., 1 Kte. 1:10.000, Wien, 1979.
SCHÖN, G.: Amtsbericht über die Befahrung der ehemaligen Graphitbergbaue Klamberg I, II, III und IV am 28.5.1986. - Unveröff. Ber. (Arch. Berghauptmannschaft Klagenfurt), 4 S., Klagenfurt, 1986.
SCHÖPPE, W.: Die Graphitindustrie Niederösterreichs. - Mont. Rdsch., 16, S. 29-30, Wien, 1924.
SCHRAUDER, M.: Petrologie und Geochemie der grafitführenden Gesteine der südlichen Böhmischen Masse (Bunte Serie, Niederösterreich). - Unveröff. Dipl. Arbeit, Univ. Wien, 181 S., Wien, 1991.
SCHRAUDER, M., BERAN, A., HOERNES, S. & RICHTER, W.: Constaints on the Origin and the Genesis of Graphite-Bearing Rocks from the Variegated Sequence of the Bohemian Massif (Austria). - Mineralogy and Petrology, 49, S. 175-188, Wien, 1993.
SCHROLL, E. & SPATZEK, H.: Dickit und eine Mikroerzmineralisation aus dem Graphitbergbau Kaisersberg, Steiermark. - Mitt. Abt. Min. Landesmus. Joanneum, 52, S. 23-25, Graz, 1984.
SETTMACHER, O.: Zur Genesis der Graphitlagerstätten. - Bergbau Rdsch., 10/9, S. 555-556, o. O., 1958.
SIGMUND, A.: Graphit im Granulit bei Pöchlarn. - TMPM, N.S., 23, S. 406-409, Wien, 1904.
SPATZEK, H.: Die Aufbereitung von Graphit mittels Flotationsverfahren. - Montan Rdsch., 3, Sonderh., Steine und Erden, S. 313-318, Wien, 1955.
SPATZEK, H.: Beitrag zur Aufbereitung des Graphites der Lagerstätte Kaiserberg. - Unveröff. Diss., Mont. Hochsch. Leoben, Leoben, 1962.
SPATZEK, H.: Graphitbergbau in Österreich. - Montan Rdsch., 15, Sonderh., Steine und Erden, S. 34-42, 9 Abb., Wien, 1967.
SPATZEK, H.: Graphitbergbau in der Steiermark. -In: WAIDACHER, F. (Red.): Der Bergmann - Der Hüttenmann. Gestalter der Steiermark. Katalog der 4. Landesausstellung 1968, 22. Mai bis 31. Oktober 1968. - Kulturref. d. Steiermärk. Landesregierung, S. 237-245, Graz, 1968.
STEFFAN, J.: Die Grafitvorkommen des Waldviertels. - Unveröff. Diss., Techn. Univ. Wien, 80 S., Wien, 1943.
STEGL, K.: Über die nutzbaren Mineralien Graphit, Bauxit, Zinnerz und Schwefelkies. - Selbstverlag des Verfassers, 34 S., Wien, 1915.
STERNER-RAINER, L.: Bericht über den Grafitbergbau Mühldorf. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., o. O., o.J.
STERNER-RAINER, L.: Bericht über den Grafitbergbau Korning-Hengstberg und die Graphitaufbereitung Ober-Waltersdorf. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 8 S., o. O., o.J.
STERNER-RAINER, L.: Bericht über die Graphitbergbaue bei Fürholz und Loja. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., 2 Abb., o. O., o.J.
STINGL, J.: Über den steirischen Graphit. - Verh. Geol. R. -A., 1871, S. 48-49, Wien, 1871a.
STINGL, J.: Untersuchungen eines Graphites aus Steiermark. - Polytechn. Jour., 4. Reihe, Bd. 49, S. 115-117, Augsburg, 1871b.
STUTZER, O., WETZEL, W. & HIMMELBAUER, A.: Die Graphitlagerstätten Niederösterreichs. - In: STUTZER, O. (Hrsg.): Die wichtigsten Lagerstätten der "Nicht-Erze", 5. - Borntraeger, S. 147-151, Berlin, 1933a.

SUESS, F.E.: Geologisches Gutachten über ein Grafitvorkommen nächst der Fichtelmühle bei Wollmerdorf, östlich von Raabs, NÖ. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 4 S., Wien, 1907.
TAUCHER, J.: Halotrichit, Aluminocopiapit, Magnesiocopiapit, Szomolnokit, Alunogen, Gips und Calcit aus dem aufgelassenen Graphitbergbau bei Zettlitz, nahe Wollmersdorf bei Eibenstein, Niederösterreich. - Matrixx, 2, S. 47-51, 5 Abb., Graz, 1992.
TAUCHER, J.: Schwefel, Markasit, Pyrit, Jarosit, Szomolnokit, Rozenit, Melanterit, Coquimbit, Römerit, Halotrichit, Voltait, Gips, Fibroferrit und Aluminocopiapit aus der Tongrube der Firma Frings bei Maiersch, Niederösterreich. - Matrixx, 3, S. 57-62, 14 Abb., Graz, 1993.
TERTSCH, H.: Graphit im Dunkelsteiner Wald. - Mitt. Wr. Min. Ges., 37, S. 59-60, Wien, 1907.
THIELE, O.: Erster Bericht über Eigenpotentialmessungen zur Untersuchung von Flinzgraphitvorkommen im Mühlviertel und Sauwald (OÖ). - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 5 S., Wien, 1979b.
TRIPPOLD, H.: Bericht vom 18.XI.1900 über das Grafitvorkommen in Klammberg bei Feld am See und Äußerung über die Rentabilität dieses Baues. - Unveröff. Ber. (Arch. Berghauptmannschaft Klagenfurt), 9 S., o. O., 1900.
TSCHEMERNIGG, J.: Bericht über das Grafitvorkommen in Oberhof. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 2 S., Eberstein, 1917.
TWRDY, W.: Die Entwicklungsgeschichte des Grafitbergbaues Kaisersberg. - Res montanarum, 3, S. 15-19, 6 Abb., Leoben, 1991.
TWRDY, W.: Die Grafitbergbau Kaisersberg Ges.m.b.H. - Berg- u. Hüttenm. Mh., 142, S. 177-178, 2 Abb., Wien, 1997.
UCIK, F. H.: Graphit in Kärnten. - Unveröff. Ber. (Bibl. d. Geol. B.-A. Wiss. Arch.), 3 S., Klagenfurt, 1992a.
UCIK, F. H.: Graphit. - In: Grubenhunt & Ofensau: Vom Reichtum der Erde. Landesausstellung Hüttenberg / Kärnten, 29. April - 29. Oktober 1995. 2. Bd.: Beiträge. - Kärntner Landesausstellungsbüro, S. 73-75, 1 Abb., Klagenfurt, 1995c.
VACEK, M.: Graphite der Steiermark. - Z. prakt. Geol., 1, S. 243-244, Berlin, 1893b.
VACEK, M.: Die Graphitlagerstätten Steiermarks. - Verh. Geol. R.-A., S. 168, 198, Wien, 1900.
VERGANI, E.: Einiges über Graphit, mit specieller Berücksichtigung der österreichischen, insbesondere der Mühldorfer Graphitwerke. - Österr. Z. Berg- u. Hüttenwesen, 23, S. 313-314, 324-326, Wien, 1875.
WAAGEN, L.: Geologisches Gutachten über das Graphitvorkommen von Elsenreith in Niederösterreich unweit Spitz an der Donau. - Unveröff. Manuskript, Wien, 1923a.
WAGNER, S.: Geochemische Charakteristik sulfidführender Mineralisationen der Böhmischen Masse mit besonderer Berücksichtigung der Isotopengeochemie. – Unvöffentl. Masterarb. Univ. Wien, 60 S., 34 Abb., 6 Tab., Wien, 2009.
WEBER, L.: Die geologischen Grundlagen des Grafitbergbaues in Niederösterreich. - In: KUSTERNIG, A. (Hrsg.): Bergbau in Niederösterreich. - Stud. u. Forsch. aus d. NÖ Inst. f. Landesk., 10, Selbstverlag d. NÖ Inst. f. Landesk. Wien = NÖ Schriften Wiss., 10, S. 369-388, Wien, 1987a.
WEINSCHENK, E.: Zur Kenntnis der Graphitlagerstätten. Chemisch - geologische Studien. I. Die Graphitlagerstätten des bayerisch - böhmischen Waldgebietes. - Abh. math.-physik. Kl., königl.-bayrische Akad. Wiss., II. Cl., 19/II, S. 519-564, München, 1897b.
WEINSCHENK, E.: Über einge Graphitlagerstätten. - 3. Die Graphitlagerstätten der Steiermark. - Z. prakt. Geol., 8, S. 36-41, 1 Abb., Berlin, 1900a.
WEINSCHENK, E.: Zur Kenntnis der Graphitlagerstätten. II. Alpine Graphitlagerstätten. - Abh. math.-physik. Kl., königl.-bayrische Akad. Wiss., 21, S. 232-278, München, 1902.
WEINSCHENK, E.: Weitere Beobachtungen über die Bildung des Graphites, speziell mit Bezug auf den Metamorphismus der alpinen Graphitlagerstätten. - Z. prakt. Geol., 11, S. 16-24, 1 Abb., Berlin, 1903.
WEISS, A.: Wenig bekannte Graphitbergwerke in der Mittelsteiermark. - Bl. f. Heimatkunde, 50, S. 34-38, Graz, 1976b.
WEISS, A.: Zur Geschichte der niederösterreichischen Grafitbergbaue.- In: KUSTERNIG, A: (Hrsg.): Bergbau in Niederösterreich. - NÖ Schriften Wiss., 10, S. 389-410, 7 Abb., 1 Tab., Wien, 1987a.
WENGER, H.: Die Lagerstätten des Graphitbergbaues Sunk bei Trieben, deren Aufschließung, Abbau und Aufbereitung, nebst einer kurzen Beschreibung der Ablagerung und des Gebirgsaufbaus. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 65 S., 22 Abb., 2 Blg., Wien, 1913/14.
WENGER, H.: Die geologischen Verhältnisse der Umgebung der Sunk und St. Lorenzen bei Trieben, Obersteiermark, und der Grafitlagerstätten dortselbst, verfaßt vom langjährigen Bergverwalter des Grafitwerkes in der Sunk. - Unberührte Gold-, Silber- und Platinschätze in der Steiermark, 119 S., 1 Kte., 8 Prof., o. O., 1936.
WENINGER, M.: Über Gehalte an Germanium, Zinn und anderen Spurenelementen in ostalpinen Graphiten und Talkgesteinen. - TMPM, III.F., 10, S. 475-490, Wien, 1965.
WENINGER, M.: Beiträge zur Geochemie der Graphitlagerstätten der Grauwackenzone. Mit besonderer Berücksichtigung der Vorkommen von Kaiserberg und Sunk/Trieben, Steiermark. - Unveröff. Diss., Univ. Wien, 115 S., 13 Blg., Wien, 1966.
WICHMANN, L.: Korund und Graphit (Mühldorf). - Verh. Geol. R.-A., 1884, S. 150-152, Wien, 1884.
WIEDEN, P.: Aufbereitung von Graphit. - Montan-Zeitung, 68, S. 25, Wien, 1952.
WOLF, H.: Ueber den steirischen Graphit. - Verh. Geol. R.-A., 1871/7, S. 115-117, Wien, 1871.
WURZINGER, H.: Gutachten über das Graphitvorkommen in Herzogsdorf, O.Oe. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 5 S., Gratwein, 1921a.

ZDARSKY, A.: Die Graphitlagerstätte im Jassinggraben nächst St. Michael in Obersteiermark. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 11 S., 1 Prof., Leoben, 1916.
ZDARSKY, A.: Bericht über ein Freischurfgebiet auf Graphit nächst St. Kathrein an der Laming in Obersteiermark. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., 1 Skizze, Leoben, 1926.
ZECHNER, H.: Bericht über den Besuch der Marbacher Graphitgruben. - Unveröff. Gutachten (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 3 S., o. O., 1914.
ZECHNER, H.: Graphitbergbau Zettlitz. - Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 9 S., Leoben, 1939a.
ZELEZNY, F.: Ergänzungen zur Mineralführung der Graphitlagerstätte Amstall, Weinberg, Niederösterreich. - Mitt. Österr. Min. Ges., 130, S. 27-28, Wien, 1985.
ZEMANN, J., BERAN, A. & PERTLIK, F. A.: Graphit als Bestandteil des Biotitschiefer-Vorkommens im Serpentinzug des mittleren Kamptales, Niederösterreich. - Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-nat. Kl., 116, S. 14-15, Wien, 1979.
ZIRKL, E. J.: Vorläufiger Bericht über mineralogische Untersuchungen einiger Graphitvorkommen aus dem niederösterreichischen Waldviertel. - Verh. Geol. B.-A., 1961, S. 99-101, Wien, 1961a.
ZIRKL, E. J.: Jarosit und Natrojarosit vom Graphitabbau Weinberg bei Trandorf, NÖ. - N. Jb. Min. Mh., 1962, 2, S. 27-31, Stuttgart, 1962.

Anhang

Ergebnisdokumentation mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen von Sekundärrohstoffen aus der Leukophyllitaufbereitung in Aspang

Probe Nr. 0150012 (= Gesamtprobe 151061001)
Aufbereitungsabgang ‚Schlicker' - Leukophyllitaufbereitung Aspang
(Aspanger Bergbau und Mineralwerke GmbH & Co KG)

Mineralbestand

Oxide, Hydroxide

Ilmenit	++	Meist als unregelmäßige bis leistenförmige Partikel. Ilmenit wird untergeordnet durch Leukoxen verdrängt.
Hämatit	+	
Rutil	+++	Als xenomorphe bis idiomorphe Körner, z.T. mit typischen knieförmigen Zwillingen. Rutil enthält nicht selten auch Einschlüsse von rundlichen Baryt- und Zirkonkörnern.
Leukoxen	+	Verdrängungsprodukt von Ilmenit.
Anatas	+	
Uranoxid	+	Wurde als feinste Einschlüsse in Pyrit beobachtet (siehe Abb.18).
Bismit	+	Als Einschluss in Pyrit.
Thoriumoxid	+	Als unregelmäßige Einschlüsse in Monazit.
Eisenhydroxide	++	Verwitterungsprodukte von Sulfiden.

Sulfide, Sulfate, Sulfosalze

Pyrit	+++++	Tritt häufig als hypidiomorphe bis idiomorphe und nicht selten auch mit Chalkopyrit verwachsene Körner auf. Pyrit weist auch sporadisch Einschlüsse von Eclarit, Galenit, Chalkopyrit, Uranoxid, Bornit, Molybdänit, Bismit und Rutil auf.
Markasit	+	Als Kornaggregate.
Chalkopyrit	+++	Wurde stets als xenomorphe Partikel beobachtet. Chalkopyrit ist untergeordnet auch mit Pyrit, Bornit und Tennantit vergesellschaftet. Idiomorphe Pyritkristalle werden manchmal durch Chalkopyrit durchtränkt.
Bornit	++	Ist meist mit Pyrit und/oder Chalkopyrit vergesellschaftet.
Pyrrhotin	+	Mit Pyrit verwachsen.
Galenit	++	Tritt als Einschlüsse in Pyrit auf.
Tennantit	+++	Tennantit wurde als Verwachsungen mit Pyrit sowie in Form von Einschlüssen in Chalkopyrit und Pyrit beobachtet.
Eclarit	++	Stets als Einschlüsse in Pyrit.
Molybdänit	+	Tritt in Paragenese mit Pyrit und Eclarit auf.
Baryt	++	Wurde als idiomorphe bis hypidiomorphe Partikel beobachtet. Baryt ist stets strontiumreich und tritt nicht selten auch als Einschlüsse in Rutil auf.

Silikate

Turmalin	+++	Tritt meist als idiomorphe Kristalle auf. Turmalin ist meist zonar ausgebildet und enthält nicht selten Einschlüsse von Pyrit und Rutil.
Muskovit	+	In Paragenese mit Dolomit.
Biotit	++	Meist mit Titanmineralien verwachsen.
Granat	+	
Amphibole	+	
Titanit	++	In Vergesellschaftung mit Pyrit und/oder Ilmenit.
Zirkon	+++	Bildet idiomorphe bis abgerundete und nicht selten auch zonar ausgebildete Kristalle. Zirkon wurde auch als Einschlüsse in Rutil und Biotit beobachtet. Paragenese Xenotim-Zirkon ist nicht selten. Zirkon reichert sich bevorzugt in der SM-Fraktion <0.063 mm an.

Phosphate

Monazit	+++	Tritt als idiomorphe bis xenomorphe,z.T. zonar ausgebildete Körner auf. Monazit ist meist Thoriumreich und besitzt untergeordnet auch Einschlüsse von Thoriumoxid.
Xenotim	++	Als lose Körner sowie in Paragenese mit Zirkon (siehe BSE-Bild).
Apatit	++++	Wurde als hypidiomorphe bis xenomorphe lose Körner sowie als feine Einschlüsse in Zirkon beobachtet. Apatit reichert sich meist in der SM-Fraktion >0.063 mm an.

Sonstige Elemente

Ferro-Magnesit	+++++	Als hypidiomorphe bis idiomorphe und z.T. mit Dolomit verwachsene Körner.
Dolomit	++	Meist idiomorph ausgebildet und enthält manchmal Einschlüsse von Strontianit.
Calcit	+	Mit Dolomit verwachsen.
Strontianit	+	Als Einschlüsse in Dolomit.
Graphit	+	Als Einschlüsse in Eisenhydroxid und Ilmenit.
Scheelit	+	In Form von scharfkantigen Partikeln (siehe BSE-Bild).

Trägerminerale für kritische Rohstoffe

Seltene Erden:	Monazit, Xenotim, Rutil, Zirkon, Apatit
Niob:	Rutil

Tantal:	Rutil
Wolfram:	Rutil, Scheelit
Chrom:	Rutil
Antimon	Tennantit
Fluor	Apatit

Chemische Zusammensetzung von wichtigen Mineralen (Gew.in %)

	Apatit		Rutil		Monazit
F	0.00 - 6.10	Nb_2O_3	0.01 - 0.40	ThO_2	1.23 - 10.28
P_2O_5	41.29 - 42.65	TiO_2	96.72 - 99.55	La_2O_3	5.32 - 22.93
CaO	52.47 - 54.82	Ta_2O_5	0.00 - 0.05	P_2O_5	22.44 - 29.52
Y_2O_3	0.06 - 0.14	FeO	0.37 - 1.09	Y_2O_3	0.23 - 3.27
Ce_2O_3	0.00 - 0.08	WO_3	0.00 - 0.58	Nd_2O_5	6.80 - 22.43
La_2O_3	0.00 - 0.22	$Cr2O_3$	0.00 - 0.20	U_2O	0.02 - 0.73
Nd_2O_3	0.00 - 0.06			Sm_2O_3	0.19 - 6.60
Sm_2O_3	0.00			Pr_2O_3	1.84 - 3.09
				Ce_2O_3	15.07 - 35.12

	Zirkon
SiO_2	30.62 - 31.64
UO_2	0.00 - 0.04
HfO_2	1.03 - 1.49
CaO	0.00 - 0.04
Y_2O_3	0.00 - 0.29
Ce_2O_3	0.00 - 0.06
ZrO_2	66.72 - 68.02
ThO_2	0.00 - 0.03

Anteil an wichtigen Schwermineralen (Vol. in %)

SM-Fraktion	<0.063 mm	>0.063 mm	<0.7 mm (Gesamt)
Apatit	5.94	13.20	7.54
Monazit	2.05	0.12	2.32
Xenotim	0.27	0.12	1.16
Zirkon	10.27	1.12	5.80
Rutil, Leukoxen	10.87	8.32	7.84
Ilmenit	0.05	0.98	1.45
Baryt	0.05	0.74	0.58
Karbonate	12.50	60.50	35.94
Sulfide	56.00	12.27	34.49

Herkunft der Schwermetalle und sonstiger Elemente

As	Arsenopyrit,Tennantit
B	Turmalin

Ba	Baryt
Bi	Bismit, Eclarit
Cu	Chalkopyrit, Bornit, Tennantit, Eclarit
Cr	Rutil
F	Apatit
Sb	Tennantit
Pb	Galenit, Eclarit
Zn	Tennantit
Mo	Molybdänit
Hf	Zirkon
U	Uranoxid, Monazit, Xenotim
W	Scheelit, Rutil
Nb	Rutil
Ta	Rutil
Ti	Rutil, Ilmenit, Leukoxen, Anatas,Titanit
Seltene Erden	Apatit, Monazit, Xenotim, Zirkon, Rutil

Charakteristische Merkmale

- sehr viel Pyrit und Ferro-Magnesit
- häufig Chalkopyrit und Apatit
- häufiges Auftreten von Zirkon, Monazit, Rutil und Turmalin (typisch)
- nicht selten Tennantit
- sporadisches Auftreten von Molybdänit, Eclarit, Bornit, Galenit, Pyrrhotin, Markasit, Xenotim und Scheelit.

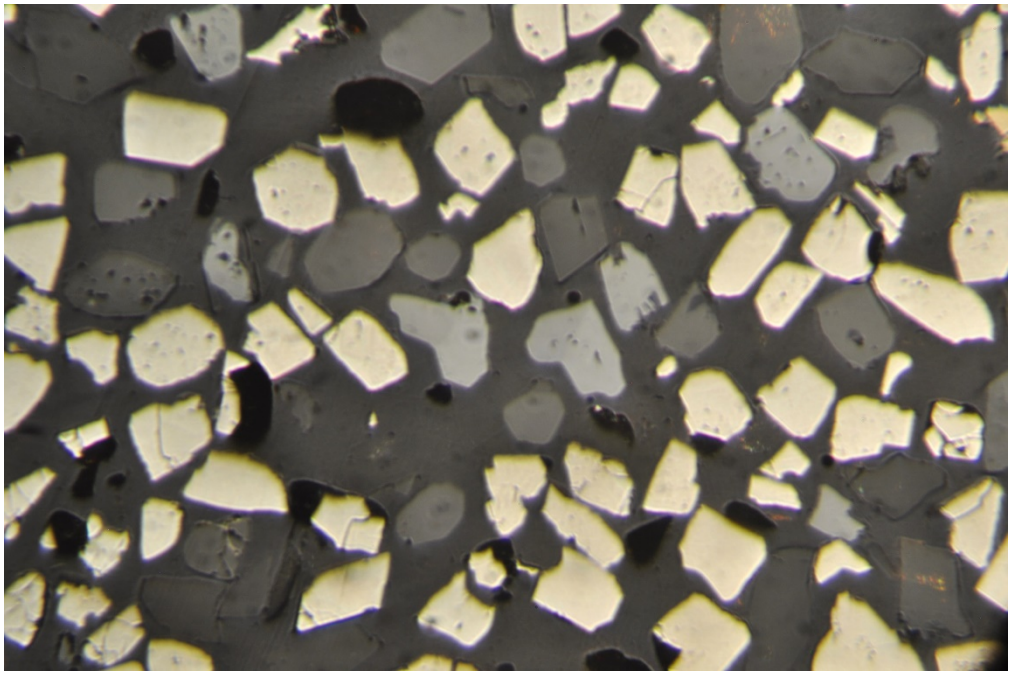


Abb. A-1:Pyritkristalle (hellgelb), Rutil (hellgrau), z.T. knieförmig verzwillingt (Bildmitte), Zirkon und Monazit (mittelgrau); siehe auch Elementverteilungsbilder Abb. A-6
Probe 0150012-A (<0.06 mm) Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.75x0.50 mm

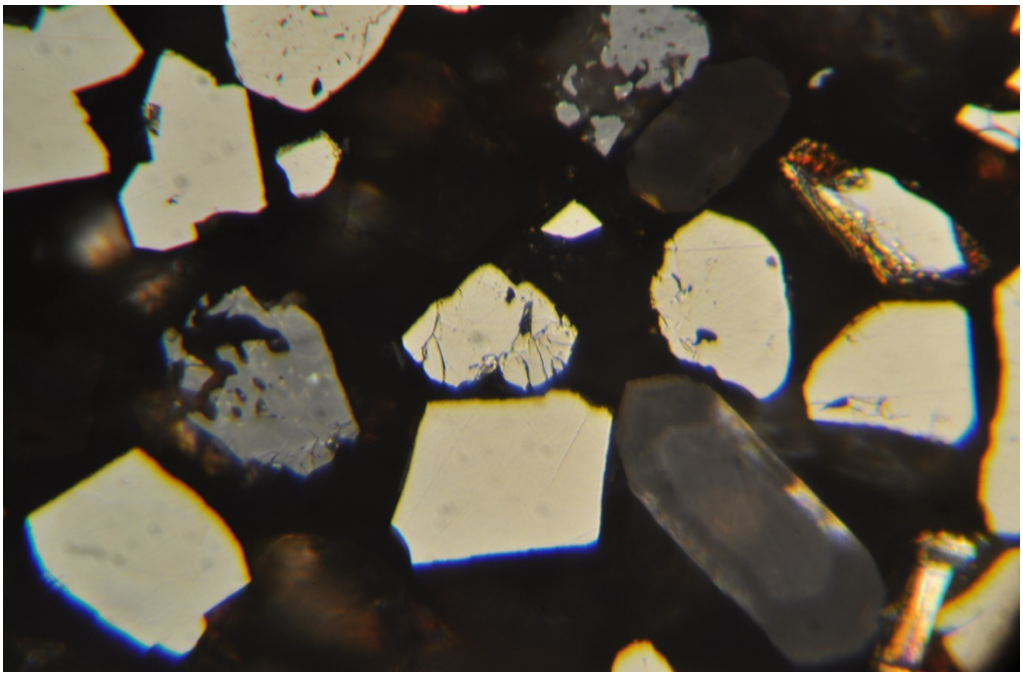


Abb. A-2: Zonar aufgebauter Zirkonkristall (unten rechts), Pyrit (hellgelb) und Rutil (hellgrau).
Probe 015012-A (<0.06 mm) Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.37x0.25 mm

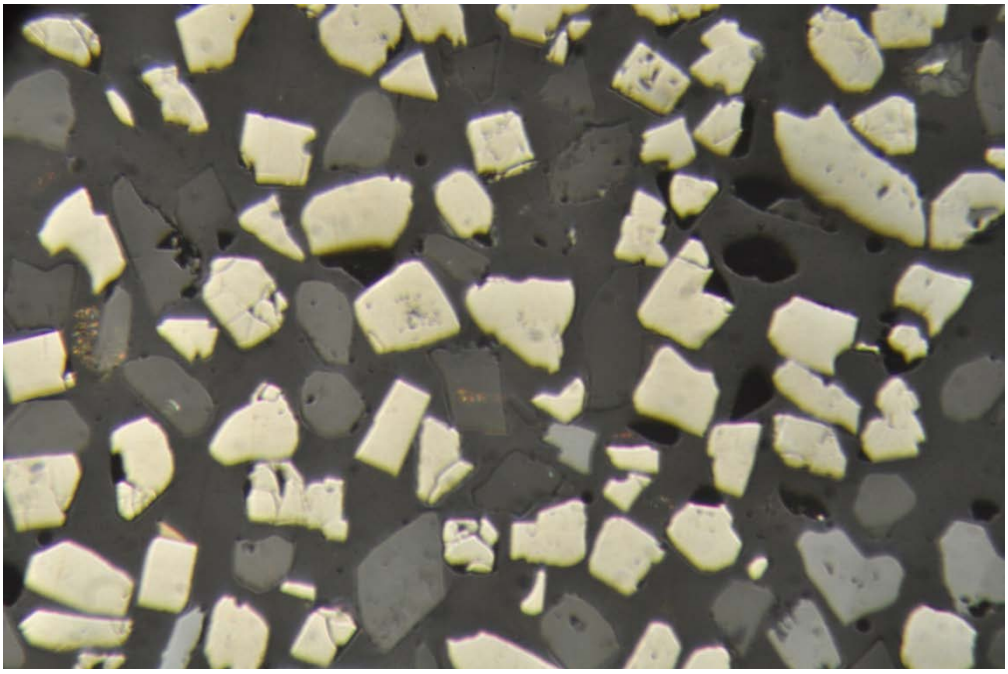


Abb. A-3: Mineralspektrum von Fraktion <0.063 mm mit viel Pyrit (hellgelblich) Monazit und Zirkon (mittelgrau), Ferro-Magnesit (dunkelgrau) und Rutil (hellgrau, unten rechts).
Probe150012-A Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.75x0.50 mm

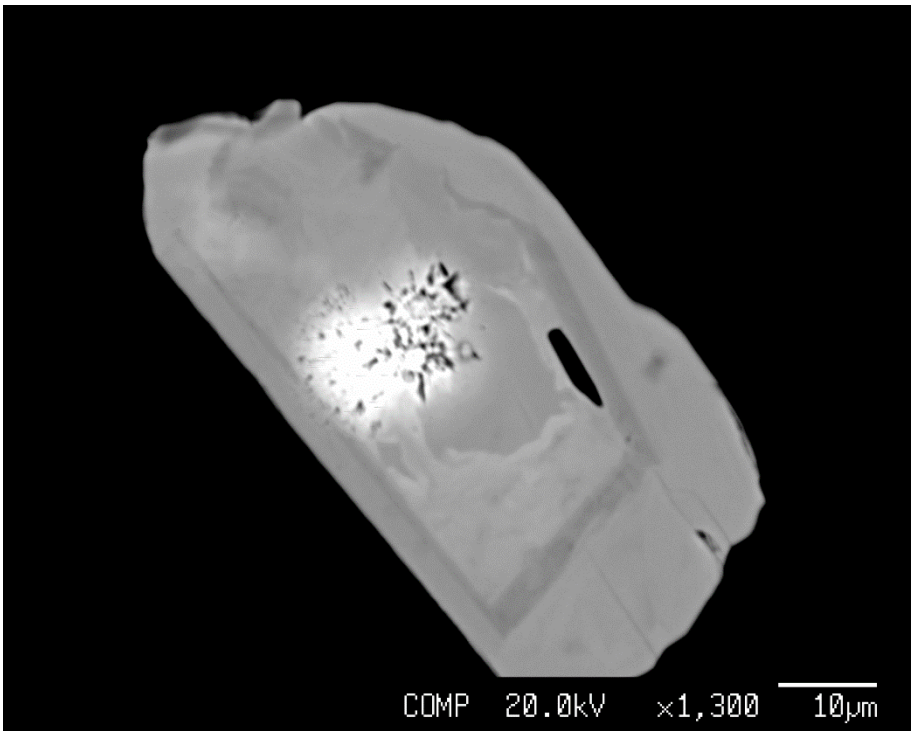


Abb. A-4: Zonar aufgebautes Monazitkorn; Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen. siehe auch Abb. A-3, links im Bild.
Probe 0150012A Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang

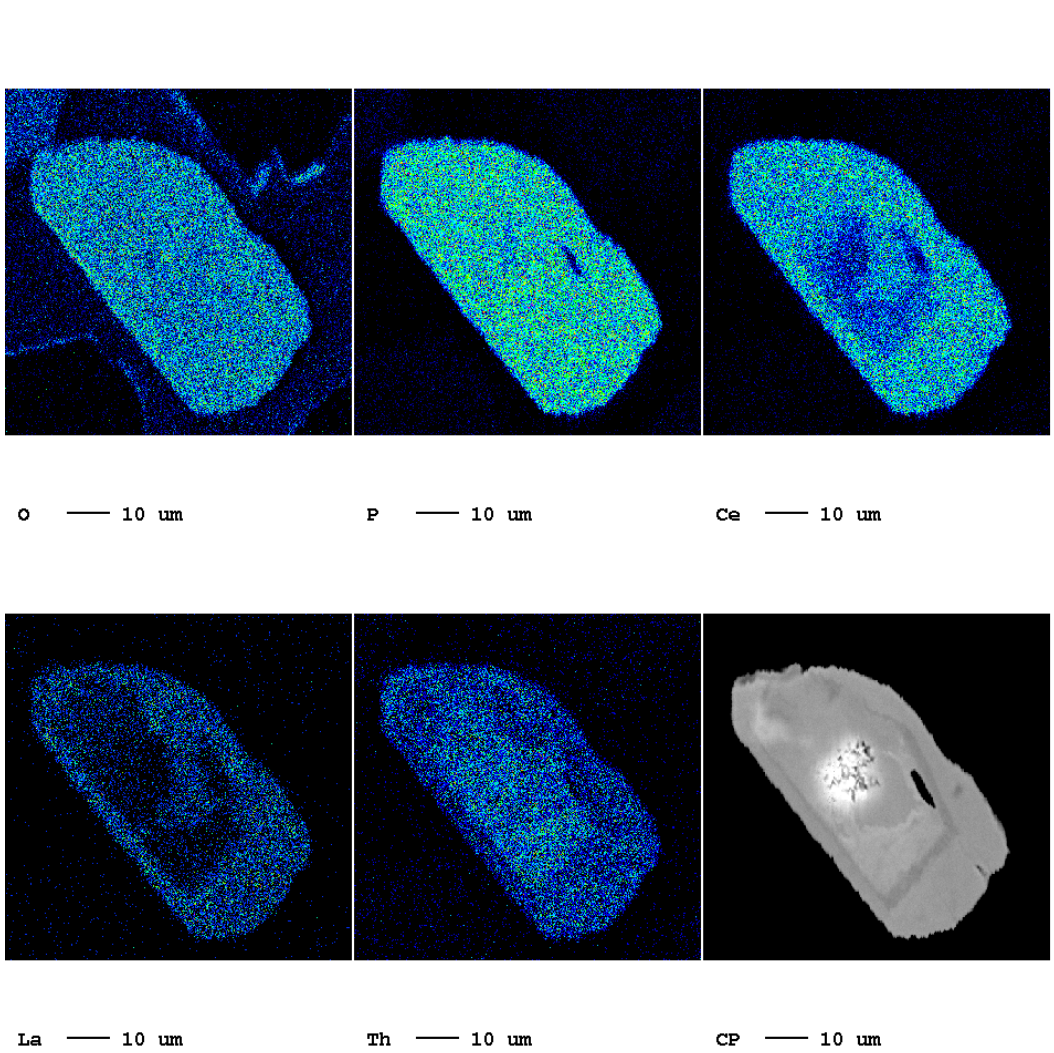


Abb. A-5: Elementverteilungsbilder von O, P, Ce, La und Th in zonar aufgebautem Monazitkorn
Probe 0150012-A Schlicker/Aspang Polierter Anschliff

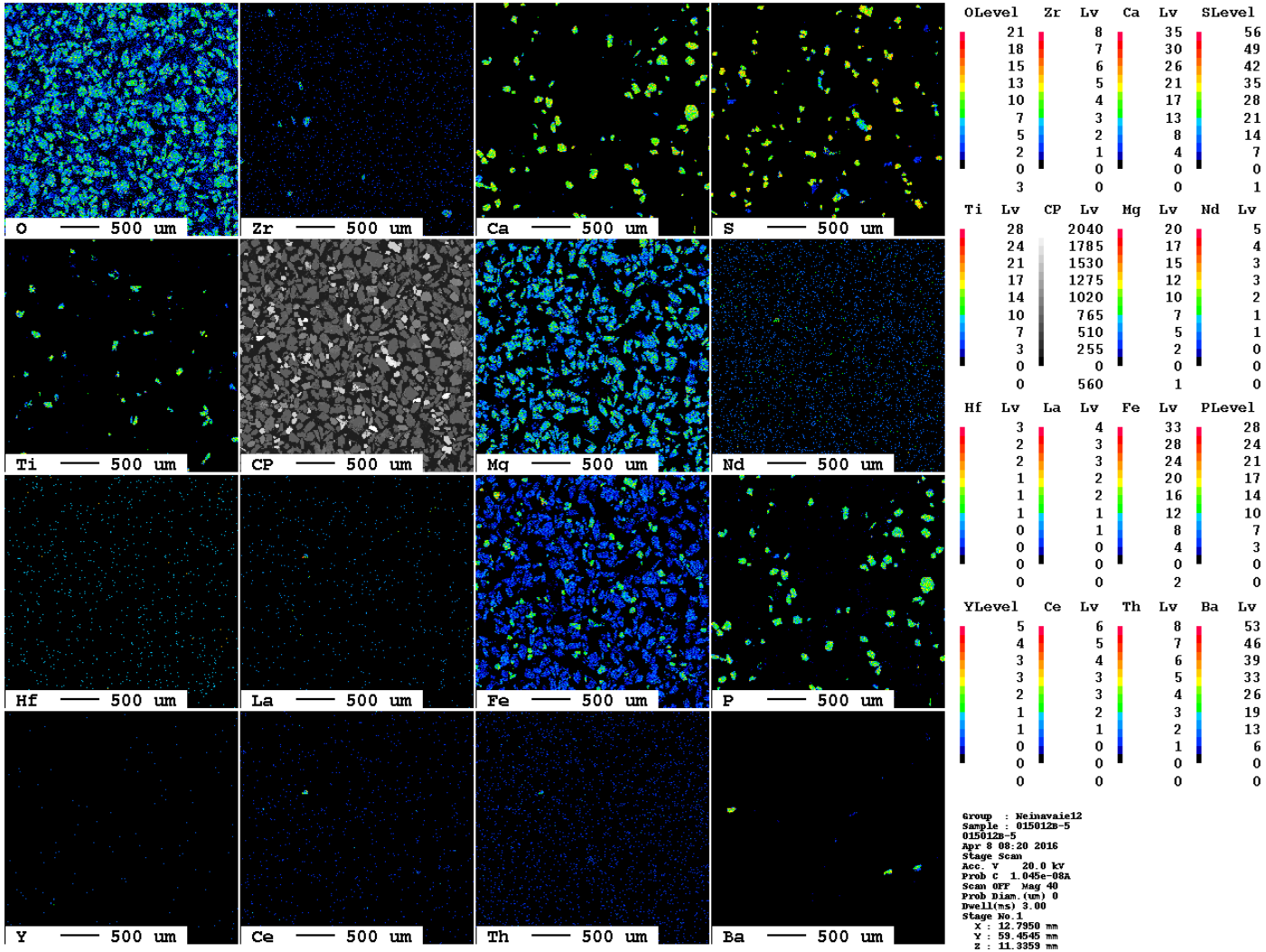


Abb. A-6: Elementverteilungsbilder von O, Zr, Ca, S, Ti, Mg, Nd, Hf, La, Fe, P, Y, Ce, Th und Ba in SM-Fraktion <0.063 mm; siehe auch Abb. A-2
Probe 0150012-A Schlicker/Aspang Polierter Anschliff

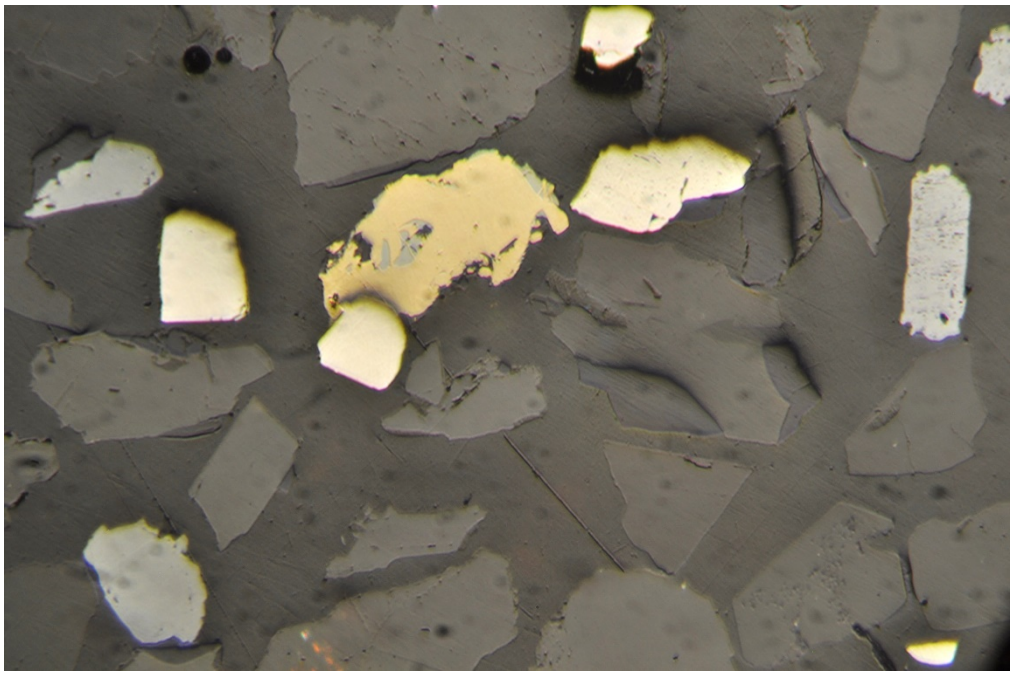


Abb. A-7: Mineralspektrum von SM-Fraktion >0.063 mm mit viel Ferro-Magnesit (dunkelgrau), Rutil (hellgrau), Pyrit (beige) sowie Chalkopyrit (gelb) mit Einschlüssen von Tennantit (bläulich grau).
Probe 0150012-B (>0.063 mm) Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.75x0.37 mm

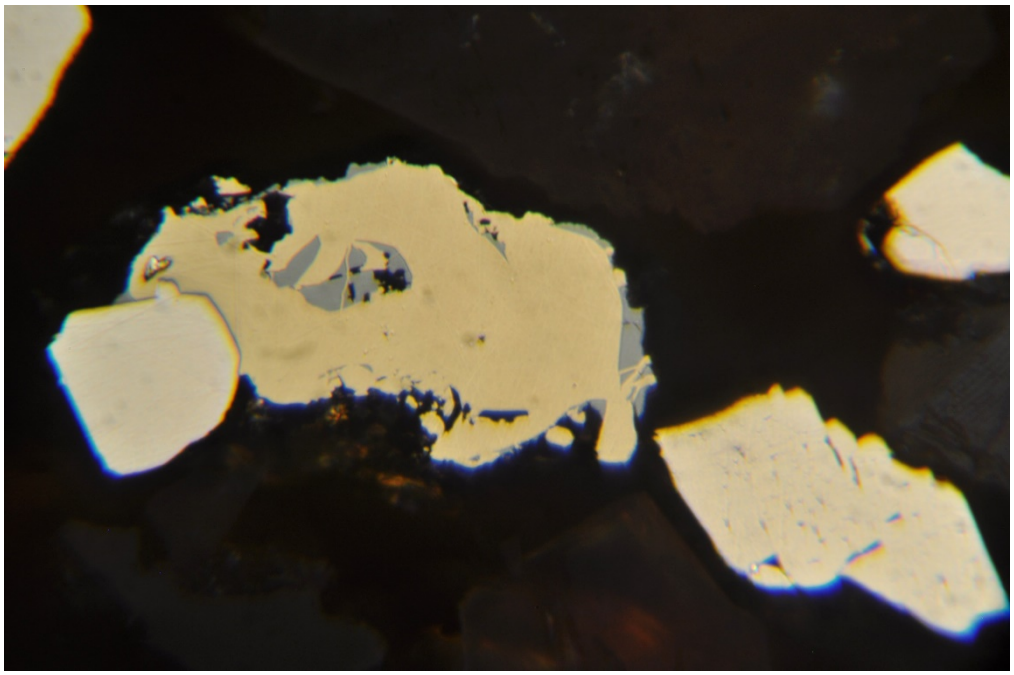


Abb. A-8: Links im Bild, Chalkopyrit (gelb) mit Einschlüssen von Tennantit (bläulichgrau), verwachsen mit Pyrit (beige).
Probe 0150012-B (>0.063 mm) Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.37x0.25 mm

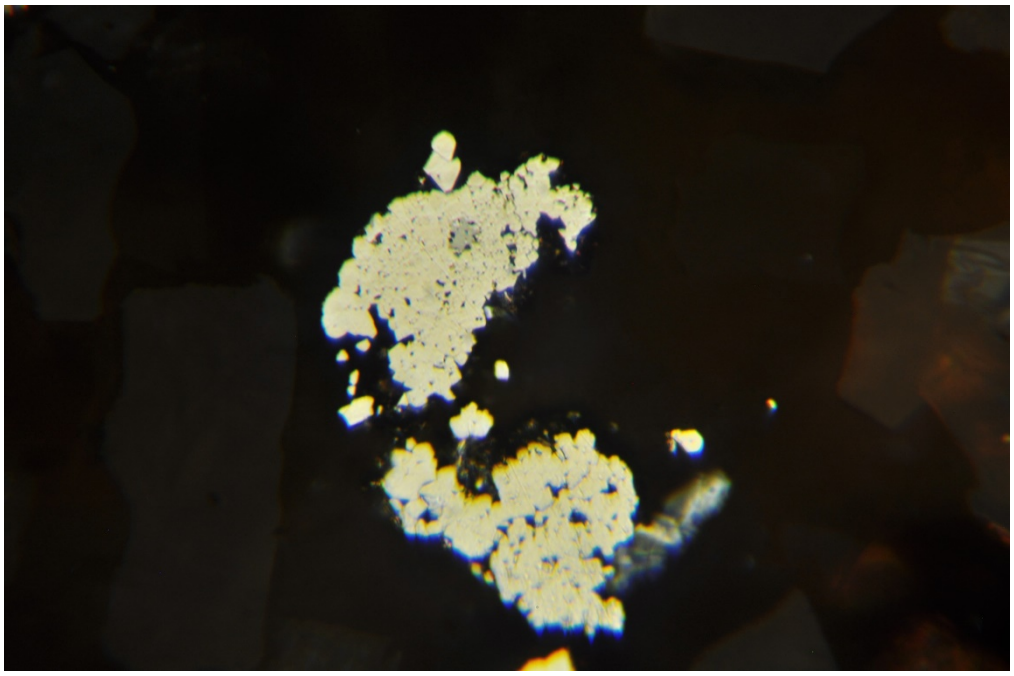


Abb. A-9: Unregelmäßig aufgebaute Pyritkornaggregate (beige) mit Einschlüssen von Eclarit (hellgrau), verwachsen mit Molybdänit (unten rechts, hellgrau).
Probe 0150012-B Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.37x0.25 mm

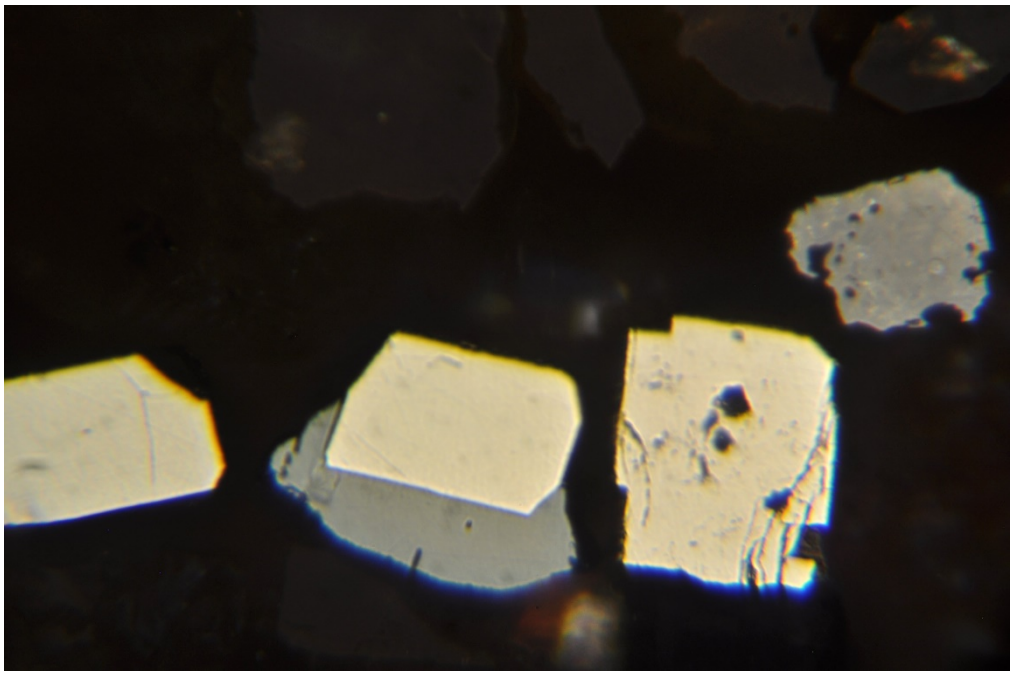


Abb. A-10: Idiomorphe Pyritkristalle (hellgelblich), z.T. mit Tennantit (bläulichgrau) sowie ein Rutilkorn (hellgrau).
Probe 0150012-B Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.37x0.25 mm

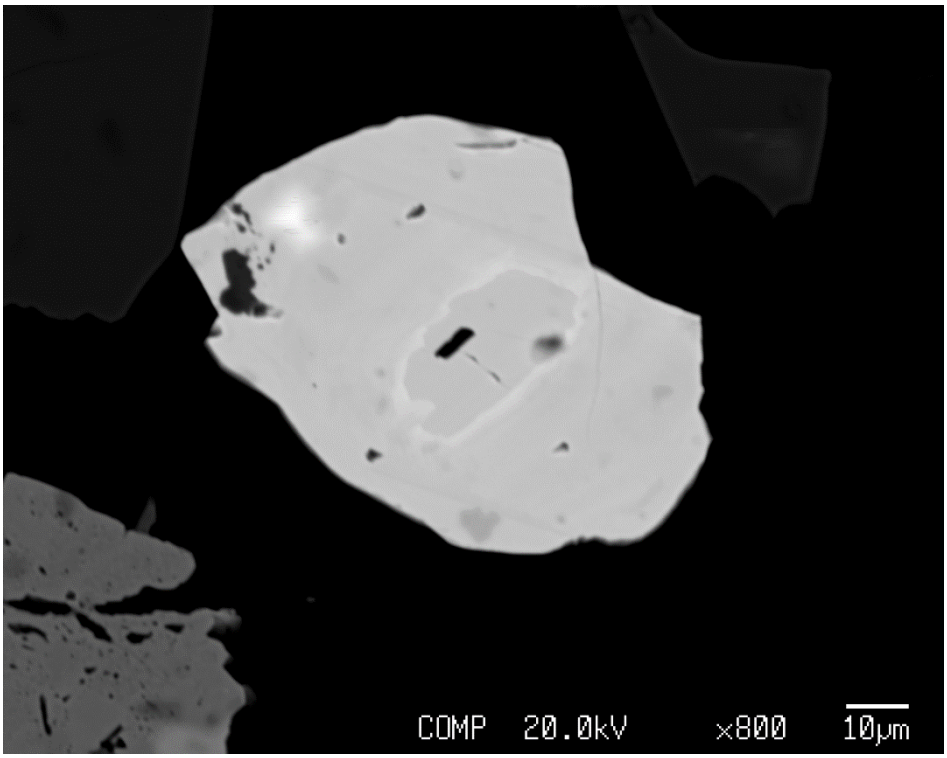


Abb. A-11: Zonar ausgebildetes Monazitkorn mit thoriumreichen Zonen (weiß). Abb. mittels rückgestreuter Elektronen.
Probe 0150012B Polierter Anschliff
Schlicker/Aspang

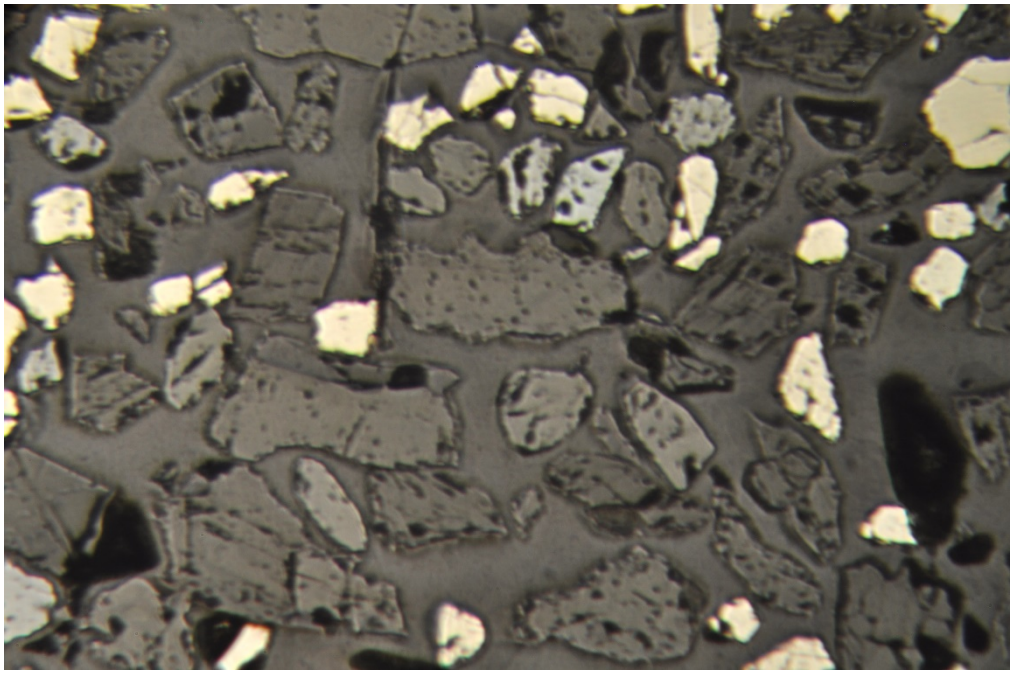


Abb. A-12: Mineralspektrum von Fraktion <0.7 mm mit viel Ferro-Magnesit (dunkelgrau), Zirkon (mittelgrau) Rutil (hellgrau) und Pyrit (gelblich).
Probe 0150012 (<0.7 mm) Polierter Dünnschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.75x0.37 mm

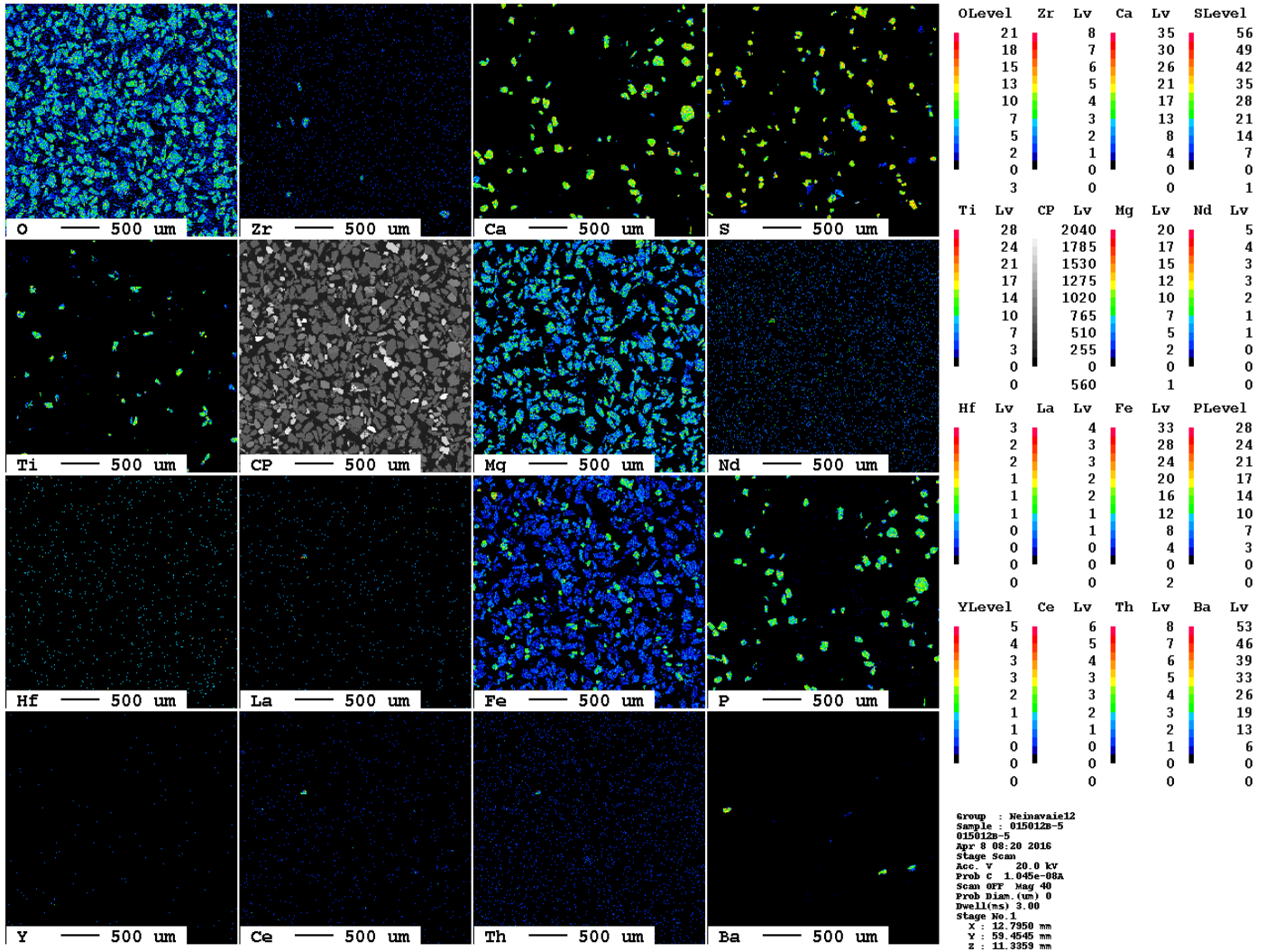


Abb.A-13: Elementverteilungsbilder von O, Zr, Ca, S, Ti, Mg, Nd, Hf, La, Fe, P, Y, Ce, Th und Ba in SM-Fraktion >0.063 mm.
Probe 0150012-B Schlicker/Aspang Polierter Anschliff

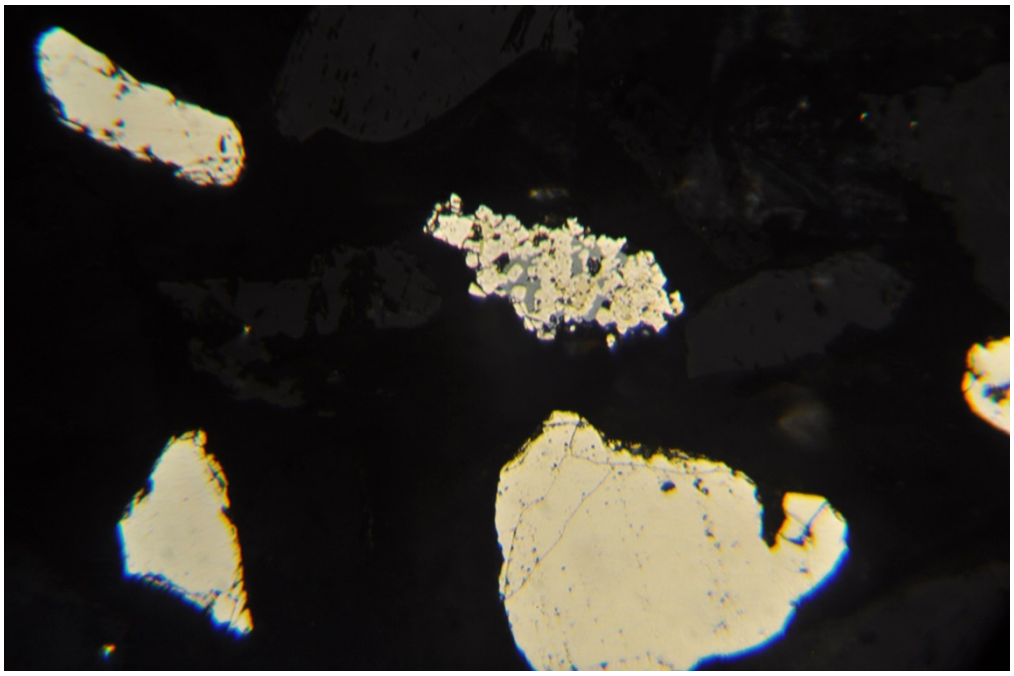


Abb. A-14: Xenomorphe Pyritkörner (hellgelb) z.T. mit Zwickelfüllungen aus Tennantit (hellgrau) und Chalkopyrit (gelb); siehe auch Abb. A-17
Probe 010012 (<0.7 mm) Polierter Dünnschliff
Schlicker/Aspang Bildgröße: 0.37x0.25 mm

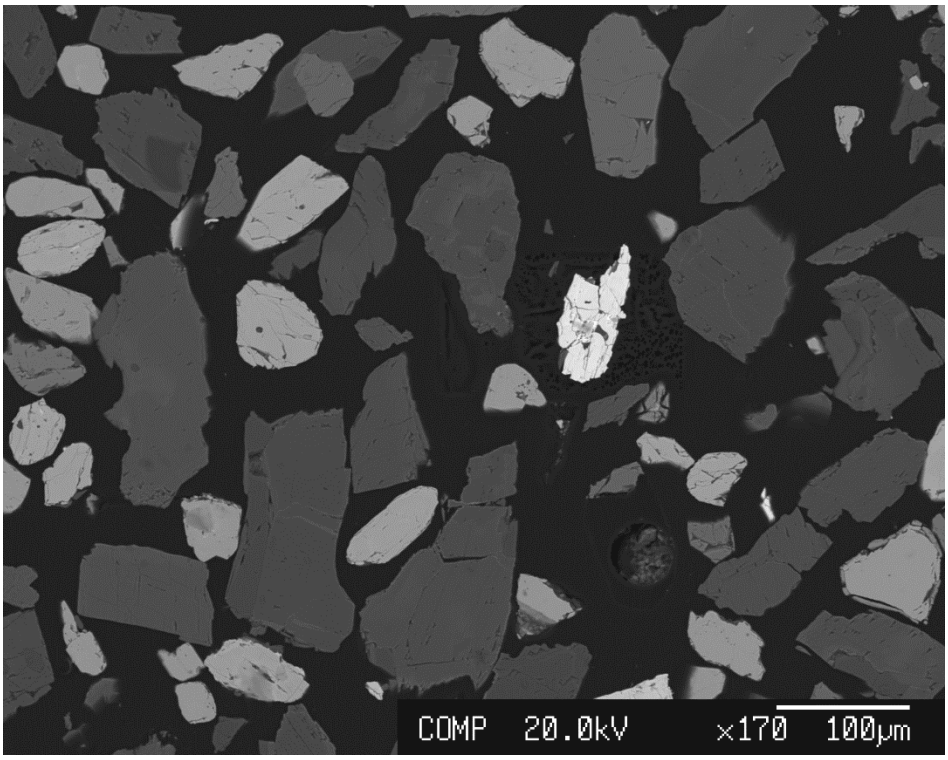


Abb. A-15: Mineralspektrum von Fraktion <0.7 mm mit zahlreichem Ferro-Magnesit (dunkelgrau), Monazit (weiß), Zirkon (hellgrau) und Pyrit (grau, etwa dunkler als Zirkon); siehe auch Abb. A-12 und Element-Verteilungsbilder Abb. A-18. Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen
Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff

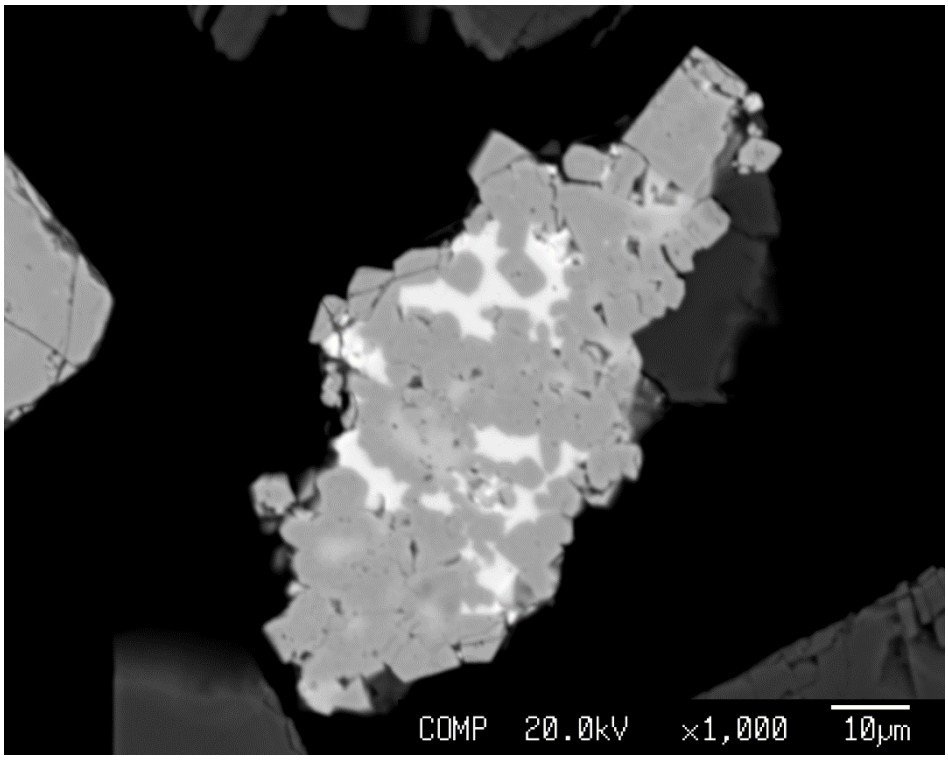


Abb. A-16: Unregelmäßiges Partikel aus Pyritkornaggregaten (grau) mit Zwickelfüllungen aus Tennantit (weiß) und Chalkopyrit (hellgrau). Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen; siehe auch Abb. A-14.
Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff

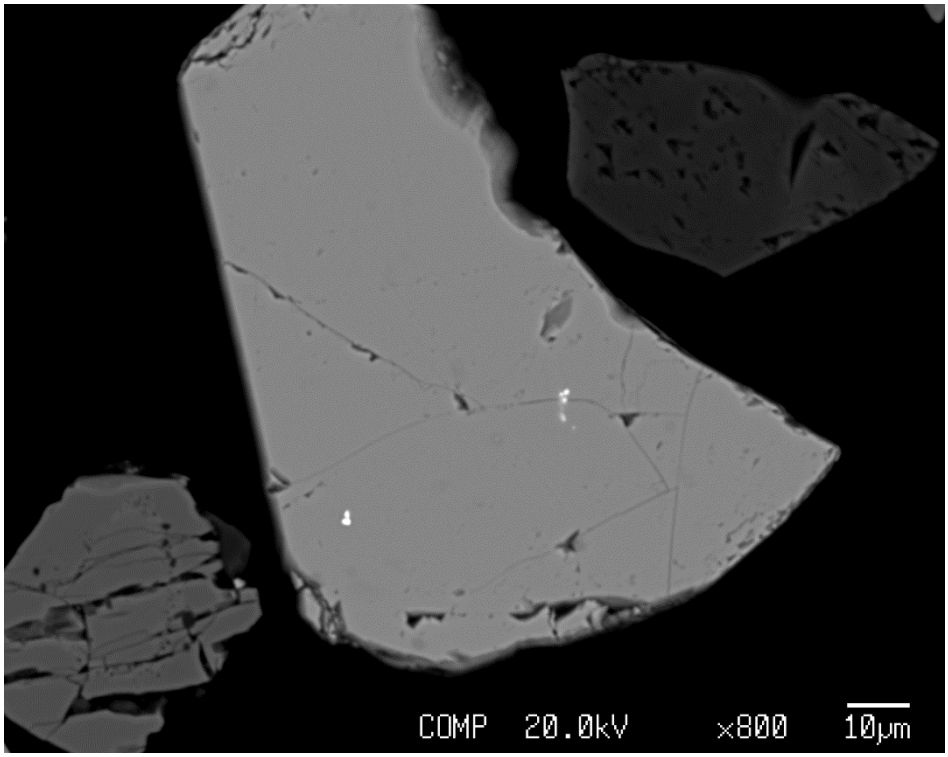


Abb. A-17: Hypidiomorphes Pyritkorn (hellgrau) mit Einschlüssen von Uran-Oxid (weiß). Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen.
Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff

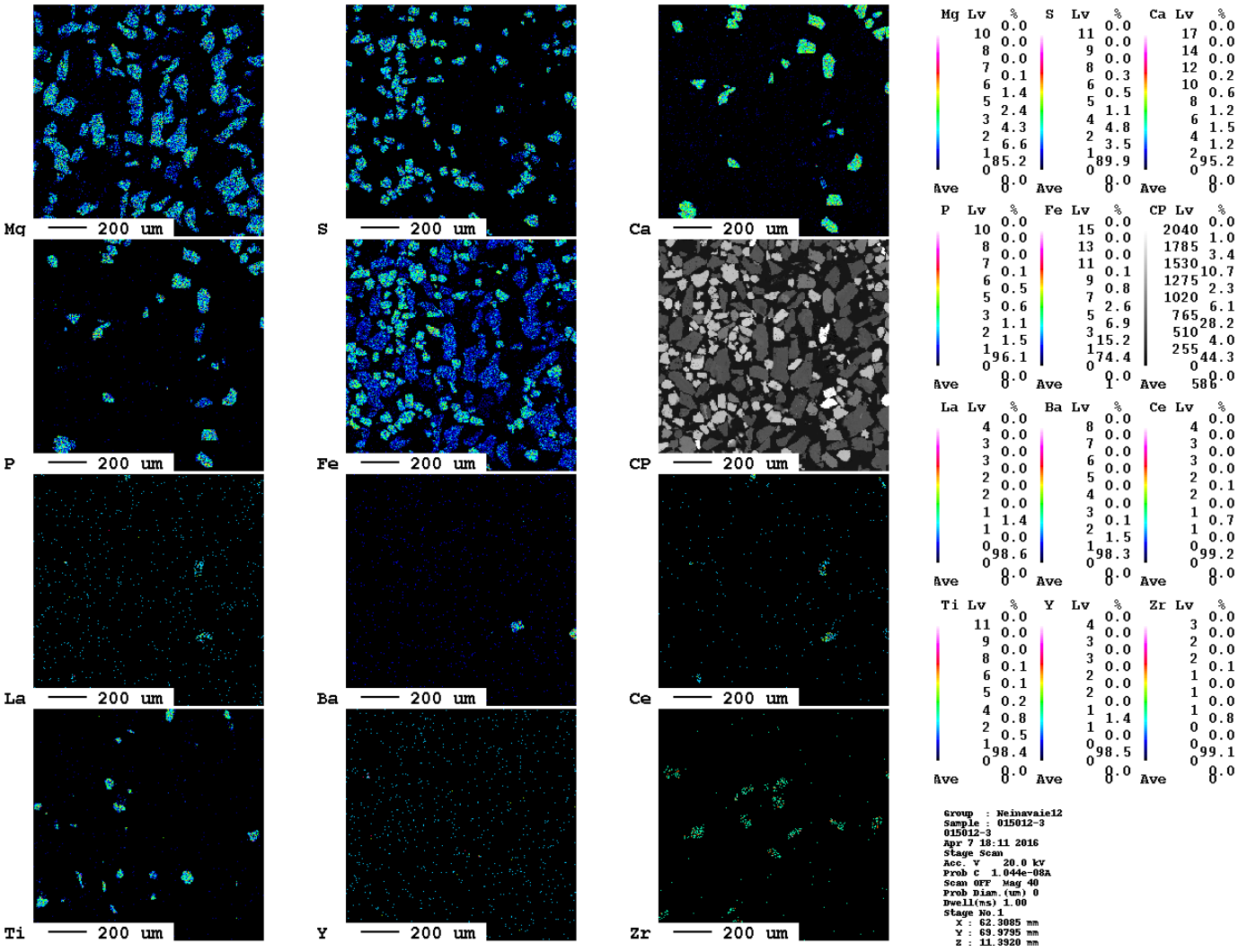


Abb. A-18: Elementverteilungsbilder von Mg, S, Ca, P, Fe, La, Ba, Ce, Ti, Y und Zr in der SM-Fraktion <0.7 mm. (Mikrosonde); siehe auch Abb.15.
Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff

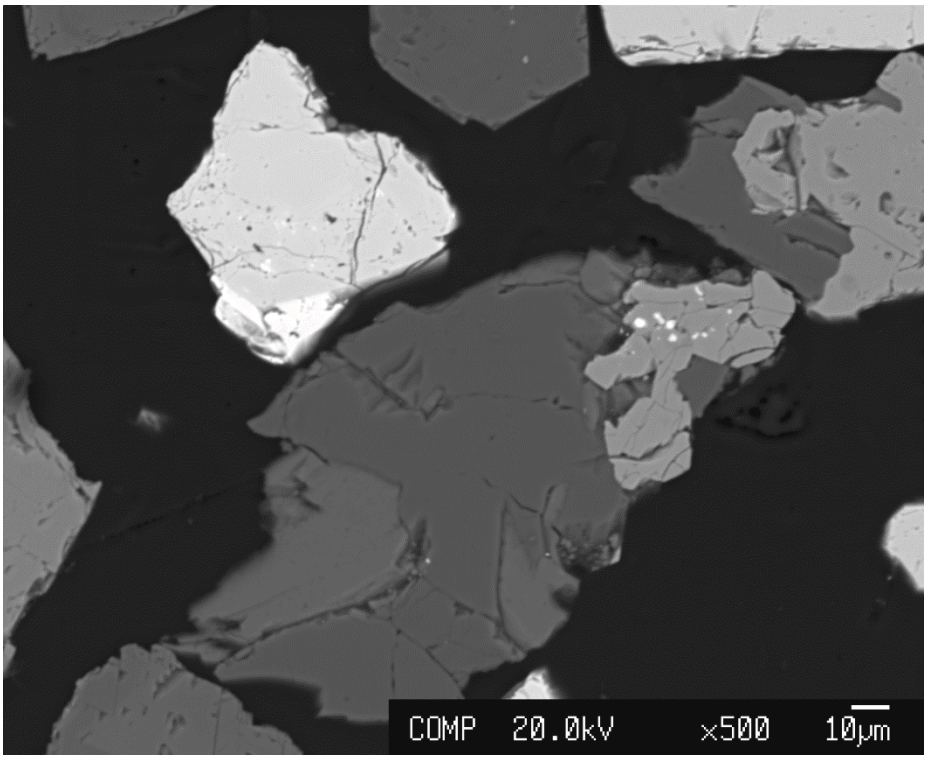


Abb. A-19: Rutil (grau) mit Einschlüssen von Baryt (weiß) verwachsen mit Quarz (dunkelgrau). Oben links Verwachsung von Zirkon (hellgrau) mit Monazit (weiß). Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen.
Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff

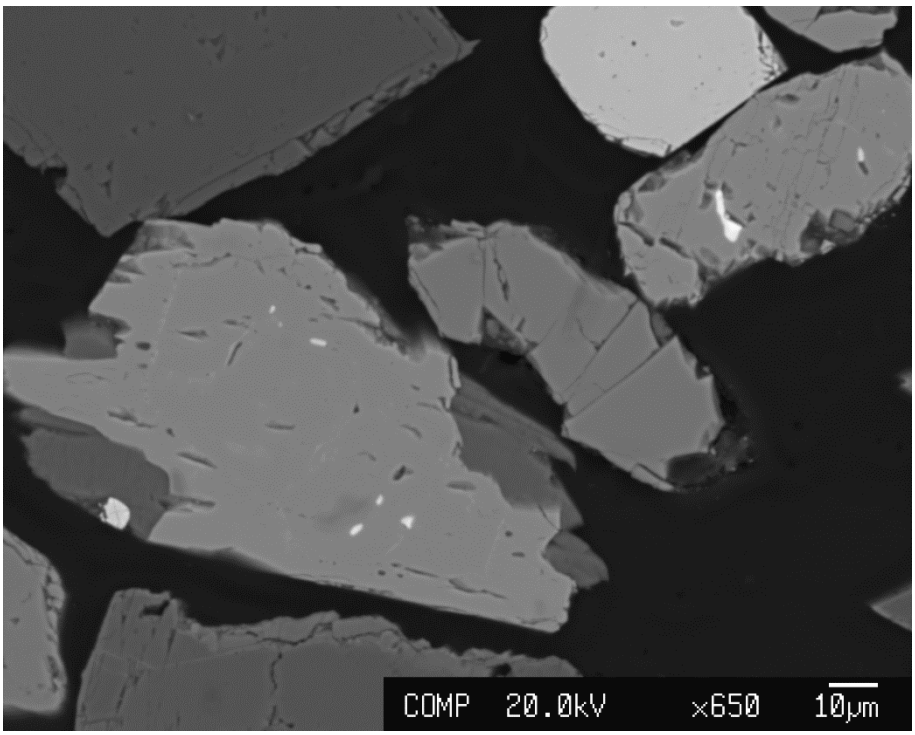


Abb. A-20: Oben rechts idiomorpher Pyrit (hellgrau) neben Rutil (mittelgrau) mit Einschlüssen von Baryt (weiß). Unten links Rutil (mittelgrau) mit Einschlüssen von Zirkon (grauweiß) verwachsen mit Biotit (mittelgrau) mit Einschluss von Zirkon (weiß). Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen.

Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff

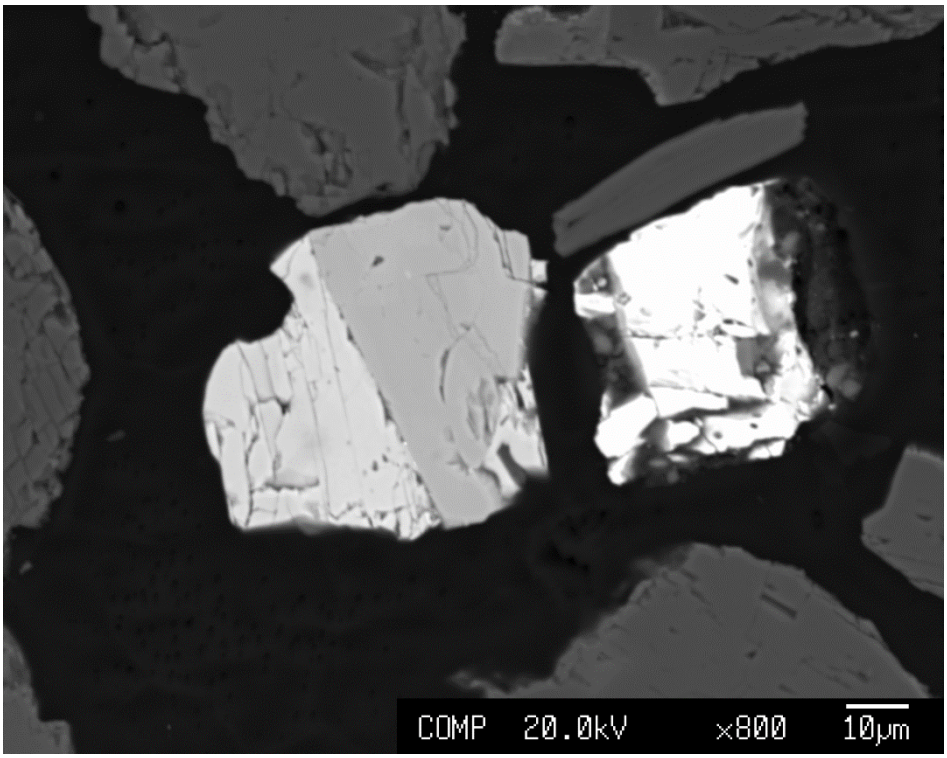


Abb. A-21: Verwachsung von Zirkon (hellgrau) mit Xenotim (grauweiß). Rechts im Bild Monazitkorn (weiß). Dunkelgraue Körner sind Ferro-Magnesitkristalle. Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen.
Probe 0150012 Schlicker/Aspang Polierter Dünnschliff