

7.5 Erweiterung geochemischer Detailinformationen durch mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen (Mineralphasenanalytik)

(ALBERT SCHEDL & HASSAN NEINAVAIIE)

Die systematische geochemische Landesaufnahme in Österreich war – wie bereits erwähnt – von Beginn an konzeptiv auf die gezielte Suche nach Erzrohstoffen ausgelegt. Aufgabe der begleitenden Forschungsprogramme war es in weiterer Folge, die durch die geochemischen Analysen festgestellten Anomalien bestimmter Elemente näher zu untersuchen und zu bewerten. Dies geschah hauptsächlich durch detaillierte Beprobung von Bachsedimenten bzw. anstehenden Gesteinen und anschließende mineralogische Untersuchungen. Dabei wurden die tatsächlichen Ursachen und Quellen der jeweiligen Indikatorelemente (je nach Zielrohstoff) gesucht und vielfach auch nachgewiesen. Es stellte sich dabei aber auch heraus, dass es allein mit chemischen Analysen nicht immer möglich war, die tatsächlichen Quellen der gesuchten Spuren- und Schwermetalle eindeutig zu identifizieren. Aus diesem Grund wurden flankierend dazu systematisch mineralogische Untersuchungen an Gesteins-, Bachsediment- (Schwerminerale) und Bodenproben eingesetzt.

Im Laufe dieser Projektarbeiten entwickelte sich aus diesem relativ aufwendigen Methodenmix eine konzise Arbeitsmethodik, die auch für unterschiedliche Probemedien (Bachsediment-, Schwermineral-, Boden-, Gesteins-, Staub- und Schneeproben) und unterschiedliche Fragestellungen die Arbeitsschritte – Aufbereitung, Durchlicht- und Auflichtmikroskopie sowie Mikrosonden-/REM-Einsatz – vereinheitlichte (Abb. 194). Neben der qualitativen und quantitativen Beschreibung von Spurenelementgehalten in verschiedenen Mineralphasen ermöglicht diese Methodik eine sehr präzise Differenzierung von geogenen und anthropogen/technogen bedingten Schwermetallquellen. Angepasst an die jeweiligen Fragestellungen wird dabei eine Reihe von Umweltmedien eingesetzt, wobei sich das Anwendungsspektrum und die Interpretationsmöglichkeiten dieser Untersuchungsmethode gegenüber klassischer geochemischer Methoden erheblich erweitert haben (Tab. 24).

Diese Differenzierung der möglichen Schwermetallquellen ist im Hinblick auf den gezielten Einsatz geochemischer Untersuchungsmethoden in der Rohstoffprospektion durchaus von Bedeutung, da schon bei den ersten Untersuchungen für den geochemischen Atlas abseits großer Siedlungsgebiete immer wieder auch (Mineral-)Phasen gefunden wurden, die nicht geogenen Ursprungs waren. Durch die ergänzende Mineralphasenanalytik konnte darüber hinaus auch die theoretisch bekannte Tatsache, dass Spurenelemente im Gitter von bestimmten Mineralen eingebaut sein können, mehrfach in der Praxis nachgewiesen werden (NEINAVAIIE, 1986, 1988, 1990). Im Zuge der Wolfram-(Scheelit-)Prospektion wurde beispielsweise immer wieder festgestellt, dass die W-Analytik sich nicht automatisch mit Scheelitvorkommen korrelieren ließ. Mittels mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass in häufig auftretenden akzessorischen Mineralen (wie z.B. Rutil, Ilmenit u.a.) verbreitet Spurenelementgehalte (Wolfram, Molybdän, Kupfer, Zink, Blei) bis in Prozentziffern eingebaut sind. Das gleiche gilt aber auch für gesteinsbildende Mineralen, wie Amphibole

oder Chlorite. Gittereinbau von Spurenelementen ist in der mineralogischen Literatur hinlänglich bekannt, die Häufigkeit und regionale Verbreitung dieses spezifischen Anomalie-Phänomens beim Probenmedium Bachsedimente war bei der Auswertung der Geochemiedaten doch etwas überraschend.

Zum ersten Mal wurde diese Arbeitsmethodik systematisch im Zuge der Bodenzustandsbewertung Krappfeld zur Charakterisierung und Bewertung von Schwermetallverteilungen in Böden und Flusssedimenten eingesetzt (PIRKL, 1993). Da mit den Methoden der mineralogischen Phasenansprache und -analytik sowohl Gehalte wie Bindungsformen der jeweiligen lithogenen Spurenelementquellen definiert werden, können über die Kenntnis des Verwitterungsverhaltens (in Abhängigkeit von den spezifischen Milieuparametern) Schlüsse auf die Mobilität oder Mobilisierbarkeit gezogen werden. Zur flankierenden Interpretationen bodengeochemischer Daten im Zuge von Bodenzustandsbewertungen hat sich diese methodische Vorgangsweise schon in mehreren Gebieten Österreichs sehr gut bewährt (PIRKL & NEINAVAIIE, 1996; PIRKL, 2003).

Parallel zu dieser Weiterentwicklung und Methodenverfeinerung in geowissenschaftlichen und pedologischen Forschungsprojekten wurden diese methodischen Erfahrungen mittlerweile auch gezielt bei verschiedenen umweltrelevanten Fragestellungen im Bereich Industrieanlagen, zur Altlastenbewertung, Bewertung von Altbergbauhaldden oder zur Quellzuordnung von staubförmigen Immissionen erfolgreich eingesetzt (NEINAVAIIE, 1989–1999; NEINAVAIIE & PIRKL, 1995–1997, 2000; TRIMBACHER & NEINAVAIIE, 2002, 2003a, b, 2008; SCHEDL et al., 2011, 2012). Bis heute liegt bereits eine große Zahl von Projekten vor, in denen sowohl geogen bedingte als auch anthropogen bedingte Schwermetallverteilungen mit Hilfe mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen im Detail bearbeitet wurden (Tab. 25).

Die umfangreichen Einzeldaten aus diesen Untersuchungen werden mittels einer komplex aufgebauten Mineralphasen-Datenbank (MS Access®-Applikation) dokumentiert (NEINAVAIIE et al., 2008). Die Datenbank des „Mineralphasen-Atlas“ verknüpft dabei die Meta-Informationsebene inklusive Probepunktdateien mit den Proben- und Phasenbeschreibungen. Mit den jeweiligen Mineralphasenangaben sind auch Informationen über analysierte Spurenelementgehalte, Genese (technogen/geogen) sowie Phasenfotos und Elementverteilungsbilder verknüpfbar. Mit aktuellem Stand (01/2015) sind in der Mineralphasen-Datenbank 371 Proben aus insgesamt 31 Forschungsprojekten mit über 7.000 verknüpften Phasen integriert. Der Gesamtumfang der erfassten geogenen und technogenen Mineralphasen beträgt derzeit 546, die in einer Bilddatei mit insgesamt 4.729 Fotos dokumentiert sind.

Als begleitende Untersuchungsmethode kam die mineralogisch-mikrochemische Untersuchung von Schwermineralphasen erst seit 2004 auch im Rahmen der bundesweiten umweltgeochemischen Untersuchung von Fluss- und

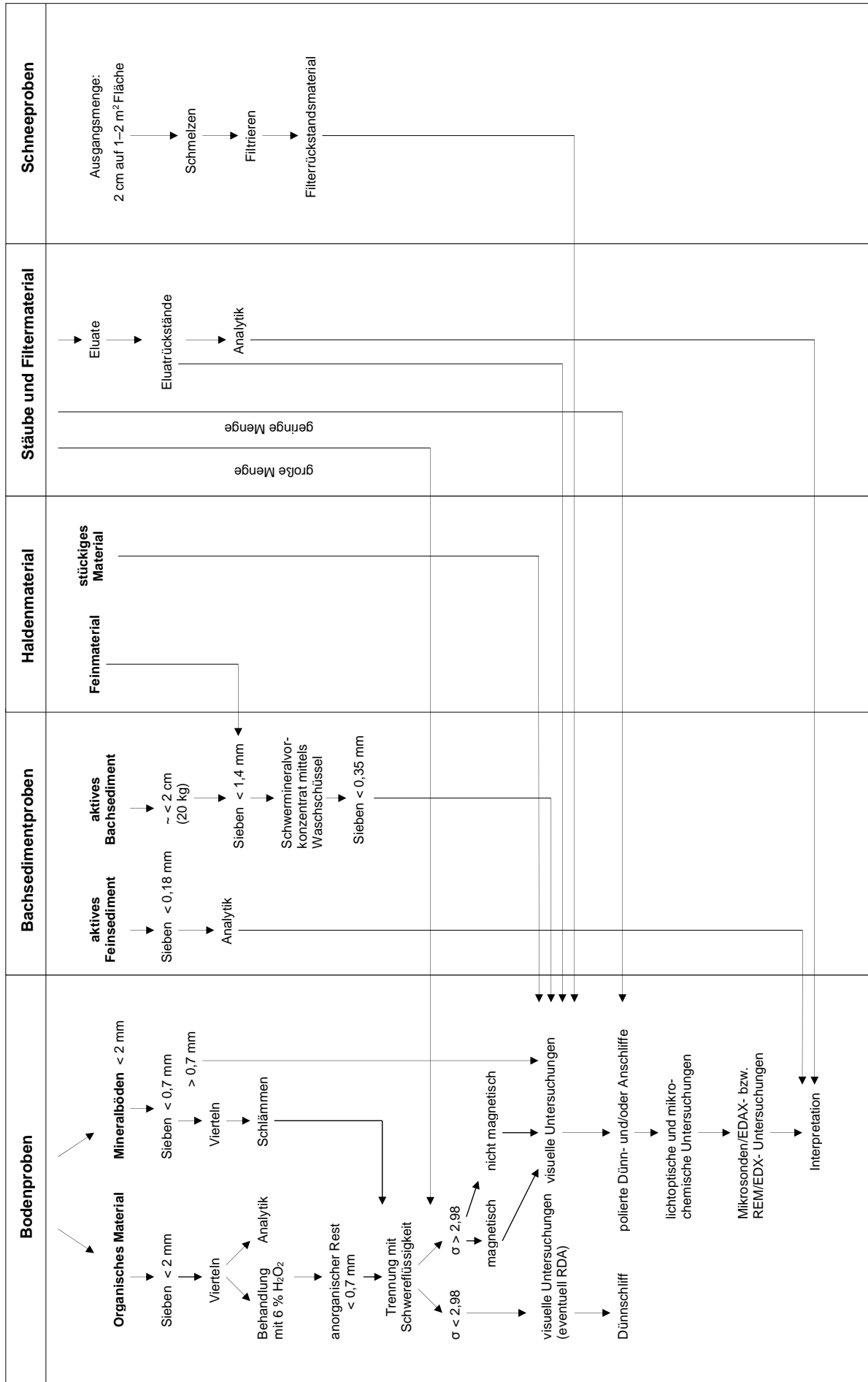


Abb. 194. Prinzip-Schema der Aufbereitungs-, Präparations- und Untersuchungsschritte für verschiedene Probenarten (NEINVAIE et al., 2008).

Probenmedium	Aussage/Information	Schwerpunkt bei Mineralogie	Schwerpunkt bei Geochemie/ Geostatistik
aktuelles Bachsediment – Korngrößenfraktion < 0,18 mm/ Multielementanalytik	Verteilung von Haupt- und Spurenelementen; Bestimmung der geogenen Hintergrundverteilungen in den jeweiligen Einzugsgebieten.		X
aktuelles Bachsediment – Korngrößenfraktion < 0,04 mm/ Multielementanalytik	Verteilung von Haupt- und Spurenelementen; neben der geogenen Verteilung von Haupt- und Spurenelementen auch technogene Schwermetallbelastungen ableitbar.		X
Bachsediment/ Schwermineralfraktion	Anreicherung von schwereren Partikeln; technogene Phasen (insbesondere aus Hochtemperaturprozessen) reichern sich häufig in dieser Fraktion an; Hinweise auf aktuelle und historische Einträge möglich.	X	
Überflutungssediment (aktuell und historisch)	Je nach der Tiefe der Probenahme Hinweise auf aktuellen, subaktuellen oder historischen Schwermetalleintrag möglich.	X	X
Böden/Auflage	Lokale Staubdeposition; je nach Dichte und Mächtigkeit des Auflagehorizonts Hinweise auf aktuellen oder subaktuellen Eintrag möglich.	X	X
Böden/Oberboden	Lokale Staubdeposition; Hinweise auf historische Einträge, die aus der Auflage bereits in tiefere Bodenhorizonte verlagert wurden; z.T. Überlagerung durch geogene Schwermetallgehalte möglich.	(X)	X
Böden/Unterboden	Überwiegend geogene Hintergrundwerte und geogene Schwermetallgehalte.		X
Haldenmaterial	Vergleichsmaterial zur Eingrenzung und Charakterisierung konkreter Staubemissionen aus bestimmten Betrieben, Produktionsprozessen oder historischen Anlagen.	X	
Schnee (Filterrückstand nach Schmelze).	Staubinhalt in Schnee repräsentiert kurzfristige, lokale Deposition seit dem letzten Schneefall.	X	
Staub von freien Oberflächen in geschlossenen Räumen.	Summe aktueller Deposition von außen und der menschlichen Aktivität in den Räumen.	X	
Staub von freien Oberflächen in der offenen Landschaft oder innerhalb von Siedlungen.	Aktuelle Deposition seit dem letzten größeren Niederschlagsereignis.	X	

Tab. 24. Zusammenstellung des Einsatzes geochemischer und mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen bei verschiedenen Probenmedien und ihre prinzipielle Aussagekraft.

Projekte/Inhalte	Untersuchungsziele	Probenmedien
Rohstoffsuche/Prospektion	Charakterisierung von Anomalien, Detailsuche nach Vererzungen im Anstehenden.	Schwermineralwaschproben, Bodenproben, Gesteinsproben.
Charakterisierung historischer Bergbaugebiete, Bewertung von Bergbauhalden.	Detailbeschreibung der Erze nach Genese und Zusammensetzung; Hinweise auf Stoffflüsse (Austrag von Schwermetallen) über die Beschreibung von Verwitterungsvorgängen.	Bodenproben, Gesteinsproben.
Trennung geogener von anthropogener Schwermetallverteilungen im Naturraum.	Konkrete Unterscheidung der Quellen; Trennung oft sich überlagernder, sehr ähnlicher Schwermetallkombinationen.	Bachsedimentproben, Bodenproben.
Charakterisierung von Emittenten.	Nachweis und Beschreibung von Emissions-Immissions-Pfaden bei Eisen- und Stahlverhüttung, Metallverarbeitung, kalorischen Kraftwerken, Zement- und Glasproduktion u.a.	Bodenproben, Schneeproben, Staubproben von freien Oberflächen.
Charakterisierung von Immissionen/aquatisch.	feste Einträge in Gewässer aus Gewerbe und Industrie sowie Siedlungsgebieten.	Fluss-/Bachsedimente.
Charakterisierung von Immissionen/terrestrisch.	Staubeinträge in Ballungsgebieten und/oder Infrastruktureinrichtungen.	Staubproben aus Staubsammeleinrichtungen.

Tab. 25. Mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen mit spezifischen Fragestellungen in ausgewählten Schwerpunktprojekten (GeoÖko, Geologische Bundesanstalt, Umweltbundesamt).

Bachsedimenten standardmäßig zum Einsatz, wobei in erster Linie ausgewählte Standorte entlang der Hauptflüsse bzw. in urbanen Gebieten untersucht wurden (Vorarlberg/8 Proben – KLEIN et al., 2005; Kärnten/30 Proben – SCHEDL et al., 2008; Steiermark/22 Proben – SCHEDL et al., 2010; Wien/26 Proben – PFLEIDERER et al., 2010).

Eine der Hauptfragestellungen der geochemischen Basisaufnahme des Bundesgebietes galt der Ansprache von Schwermetallquellen. Neben der Darstellung der geologisch/lithologisch bedingten Spurenelementverteilungen stellt sich dabei auch die Frage nach den technologischen/anthropogenen Einflüssen. Durch die spezifische Beprobung von Schwermineralen konnte erstmals auch der Einfluss technogener Prozesse auf die Zusammensetzung der Bach- und Flusssedimente untersucht werden. Mit der systematischen Einbeziehung von Schwermineralprobenpunkten entlang der Hauptflüsse und den Ergebnissen der mineralogisch-mikrochemischen Untersuchungen ist es nunmehr möglich, die Zusammensetzung, Spurenelementgehalte und die Herkunft dieser Mineralphasen sehr genau zu bestimmen. Es wird damit möglich, die tatsächlichen Emittenten von Schwermetallen einzugrenzen und sich oft überlagernde geogene Quellen von technologischen zu trennen. Die mineralogischen Phasenanalysen ergänzen, erweitern und verdeutlichen somit die Aussagen aus den geochemischen Analysen.

Die Schwermineralfraktion in den Bach- und Flusssedimenten widerspiegelt sehr gut die Einflussgrößen der historischen gewachsenen Industrie- und Gewerbestrukturen in den jeweiligen Einzugsgebieten der Flüsse. Dynamische Entwicklungsprozesse in den Stoffflüssen sind dabei ebenso ablesbar wie Strukturreste historischer Produktionsprozesse.

Mineralphasen aus der Eisen- und Stahlindustrie und solche aus der Nichteisenmetall- und Sondermetallindustrie machen bei den bisherigen Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente den Hauptanteil der technologischen Phasen aus. Dazu kommen im lokal begrenzten Umfang auch Einflussfaktoren im Bereich von Sonderstandorten wie kalorische Kraftwerke, Zementwerke, Feuerfest- oder Glasindustriestandorte, die alle sehr markante Phasenspektren aufweisen und dadurch anhand der spezifischen Zusammensetzungen der emittierten Partikel nach ihren jeweiligen Quellen klar unterscheidbar sind.

Aus den flankierenden Mineralphasen-Untersuchungen im Rahmen der umweltgeochemischen Untersuchungsprogramme in Kärnten und der Steiermark lassen sich die erweiterten Aussagemöglichkeiten dieser Arbeitsmethodik bereits sehr gezielt für die Zuordnung bestimmter Emissionsquellen nutzen. Entsprechend der großen historischen und aktuellen Bedeutung der Eisen- und Stahlindustrie finden sich in allen großen Flüssen der Steiermark Mineralphasen aus verschiedenen Eisen-/Stahl-Produktions- und Verarbeitungslinien. Schwerpunkte sind dabei die Mürz mit modernen Betrieben beispielsweise in Krieglach, Mitterdorf bzw. Kapfenberg und die Mur, insbesondere ab der Einmündung des Vordernberger Baches (Donawitz). Muraufwärts zeichnen sich aber auch die historisch-industrielle Aktivitäten im Bereich Judenburg ab. Muraufwärts lässt sich die gesamte Spannweite der Einflüsse aus der Eisen-Stahl-Erzeugung und -Verarbeitung bis an die slowenische Grenze verfolgen. Die entsprechende Multielementanalytik der Bach- und Flusssedimentgeochemie an

diesen Probepunkten spiegeln sehr gut diese Aussagen wider. Ähnliche regionale Muster der historischen Eisenindustrie sind auch entlang großer Hauptflusssysteme in Kärnten zu beobachten (z.B. Gurk, Metnitz).

Prinzipiell sind die steirischen Eisenerze zumeist als Schwermetall-arm einzustufen. So sind auch im Umfeld der älteren Eisenverhüttungsanlagen kaum Schwermetallprobleme bekannt.

Etwas anders ist die Situation im Bereich der großen Kärntner Eisenlagerstätten (Gebiet Hüttenberg, Friesach-Olsa), die als begleitende Mineralparagenesen auch Kupfer-, Arsen-, Antimon- und Nickelsulfide beinhalten. Entsprechende Schwermetall führende Phasen in den Flusssedimenten sind hier häufig an Eisenerz-Röstgut, Eisenhütten- und Buntmetallschlacken gebunden, die sehr gut mit den Daten der Multielementanalytik (Arsen, Antimon, Kupfer, Zinn) korrelieren.

Ein etwas unterschiedliches Emissionsspektrum der Eisen- und Stahlindustrie entwickelte sich vor allem in den steirischen Industrieregionen mit der Einführung der Stahlerzeugung und der Produktion von Sonderstählen (Nickel, Chrom, Molybdän u.a.). Die Einträge aus der Stahlerzeugung in Flusssedimenten werden beispielsweise durch hohe Molybdän- und Chromkonzentrationen im Vorderbergbach, Mur und Mürz markiert, die sich auch in den Proben des weiteren Murverlaufs noch verfolgen lassen. Geogener Chromit als weitere mögliche Chrom-Quelle in den Flusssedimenten ist dabei aber sehr gut von technologischen Chromit-Phasen unterscheidbar. Eine zusätzliche Schwermetallquelle im Bereich der modernen Eisen-Stahlerzeugung stellt der Einsatz von diversen Schrottmaterialien dar, über den weitere Spurenelemente wie Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink in die Produktionskreisläufe gelangen. Diese spezifischen Prozessstrukturen lassen sich anhand der festgestellten Mineralphasen im Umfeld der Stahlerzeugung und -verarbeitung ebenfalls sehr gut nachvollziehen.

Das Spektrum der Mineralphasen aus der Eisen- und Stahlindustrie reicht von Partikeln, die aus der Röstung der karbonatischen Erze, Sinterung, Verhüttung, Stahlerzeugung bis hin zur Eisen- und Stahlverarbeitung stammen. Typische Repräsentanten dieser technologischen Phasen sind Sinterbestandteile, Röstgut, Eisenhütten Schlacke, Ferrosilizium, Konverterschlacke (Edelstahlproduktion), globulare Partikel aus Hochtemperaturprozessen (LD-Stahlproduktion), Chrom-Nickel-Stahl-Partikel aus der Stahlproduktion/-verarbeitung, Gusseisen, Zunderpartikel (Walzwerk, Schmiedearbeit), Stahlspäne aus Fräs- und Schneidvorgängen, globulare Partikel (Kaltabtrieb) von Schleif- und Schneidvorgängen (Abb. 195). Aus der spezifischen Zusammensetzung vieler der identifizierten Mineralphasen (z.B. Eisenhütten Schlacken) lässt sich sogar das Alter der jeweiligen Produktionsphasen im Sinne einer historischen Belastungschronik abschätzen.

Neben der Form, die stark von dem jeweiligen Entstehungsprozess abhängt, ist der Spurenelementgehalt eines technologischen Partikels der eigentliche Fingerprint für die Bewertung der Schwermetallverteilung in Bach- und Flusssedimenten. Der Spurenelementgehalt hängt dabei sehr von den verwendeten Ausgangsrohstoffen und physikalischen/chemischen Parametern beim Entstehungsprozess ab (Tab. 26).

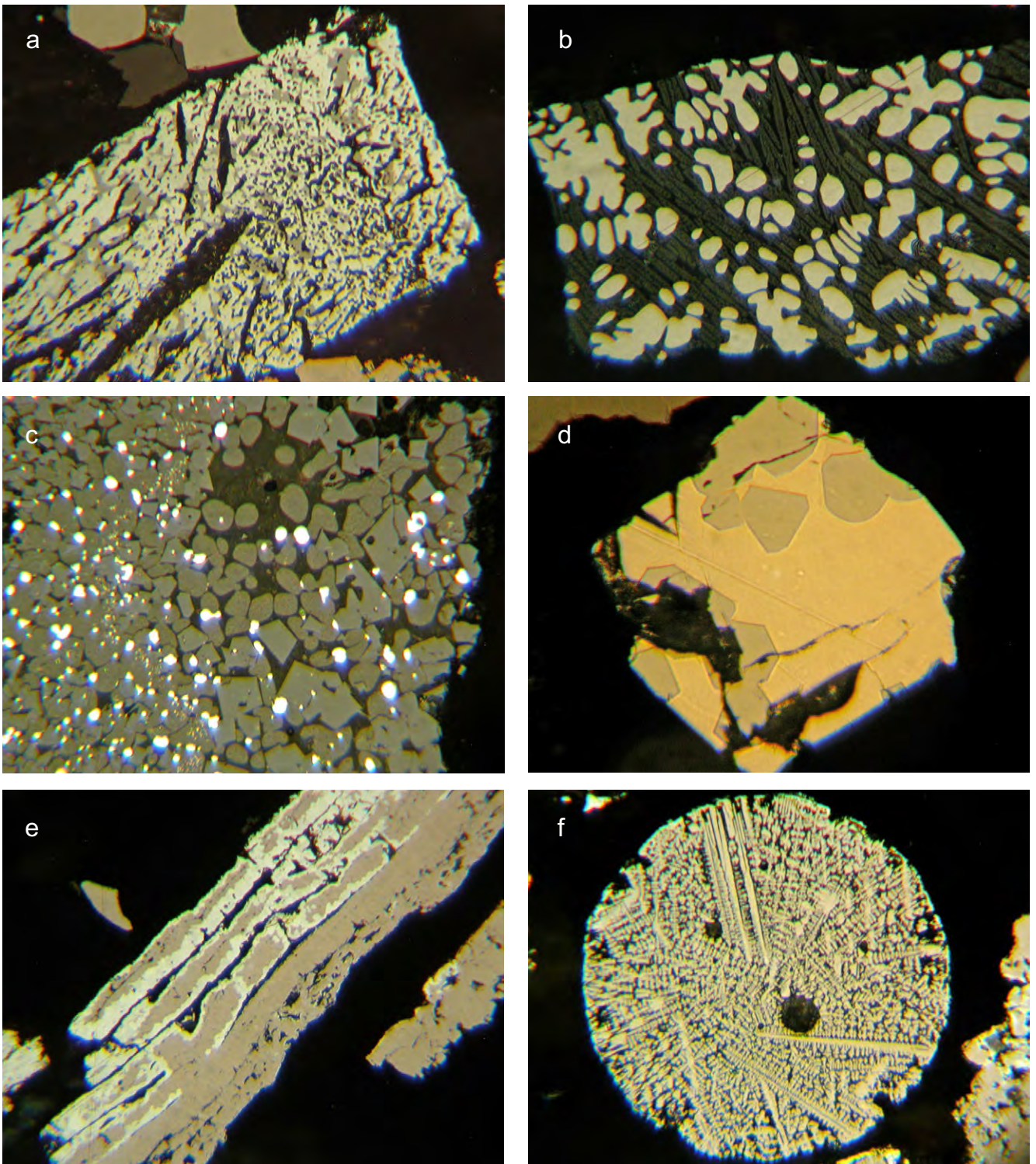


Abb. 195.

Typische technogene Phasen der Eisen- und Stahlindustrie in den Flusssedimenten der Mürz und Mur (aus SCHEDL et al., 2010b).

a) Röstgut, b) Eisenhüttenschlacke, c) Stahlwerkschlacke (Typus ‚Chromstahlerzeugung‘), d) Ferrosilizium, e) Zundermaterial (Typus ‚Walzwerk‘), f) Globularpartikel (Typus ‚Industrieöfen‘).

technogene Mineralphasen	im Gitter eingebaute Elemente
Spinnelle	Cr, Ni, Mn, V, Zn
Calciumferrite	Ce, Cr, Cu, Mn, Ni, P, Ta, V, Zn
Magnetit	Cr, V, Zn
Wüstit	Cr, Mn, Ni, V, Zn, Pb
RO-R ₂ O ₃ -Phasen	Cr, Ni, V, Zn
Ferrosilizium	Cr, Ti, V, Cu, Ni

Tab. 26. Übersicht über mögliche Spurenelemente im Gitter verschiedener technogener Phasen (PIRKL & NEINAVAI, 2002).

Calciumferrit-(Brownmillerit-)Mischkristalle sind beispielsweise immer technogenen Ursprungs und werden bei Hochtemperaturprozessen gebildet. Je nach Bildungsprozess sind jeweils unterschiedliche Spurenelemente im Gitter eingebaut (Tab. 27). Sie können daher als Leitphasen für verschiedene Emissionsquellen herangezogen werden.

Emittent	häufige Spurenelemente im Gitter von Calciumferriten
Kohlekraftwerke	V, P, S, Ba
Glasiindustrie	V, P, Cr, Ni
Sondermetall-Industrie	Nb, Ta, V, Cr, Ni, P, Ce
Stahlproduktion (Hochofen)	Cr, Mn, P, Ti, V, Zn
Sinteranlagen	Mn, Ti, (P)
Zementindustrie	Zn, Mn

Tab. 27. Spurenelemente im Gitter von Calciumferriten als Hinweis auf den jeweiligen Emittenten (NEINAVAI et al., 2000).

Entsprechend dem großen Verbreitungsgebiet von Buntmetallbergbau und Buntmetallhütten in Kärnten und in der Steiermark finden sich in den Flusssedimenten an vielen Stellen auch Mineralphasen aus dem historischen Buntmetallbergbau, der Erzaufbereitung und der Buntmetallverhüttung (Schlacken mit Arsen, Kupfer, Blei, Zink, Zinn). Überlagert werden diese Elementverteilungen aus der historischen Buntmetallerzeugung durch Verteilung von Phasen aus der modernen Buntmetallverarbeitung. Bei letzteren handelt es sich überwiegend um „Weißmetalle“ wie Zinn-Blei-Legierungen, Nickel-Zinn-Legierungen, Zinnbronze, Blei-Zinn-Bronze u.ä.

Die prinzipiellen Aussagemöglichkeiten mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen an Schwermineralphasen aus Bach- und Flusssedimenten lassen sich anhand des Lagerstättenraumes Bleiberg-Kreuth und des zugehörigen Verarbeitungsstandortes Arnoldstein sehr gut skizzieren. Die festgestellten Mineralphasen dokumentieren dabei fast lückenlos die gesamten historischen Produktionsabläufe von Erzabbau, Erzaufbereitung und Erzverhüttung sowie die teilweise Überlagerung mit modernen Produktions- und Verarbeitungsprozessen (Abb. 196).

Im Sediment des Nötschbaches und des direkten Drauzuflusses Weißenbach sind im Gebiet Bleiberg-Kreuth alle primären und sekundären Minerale der Pb-Zn-Vererzungen mit den Schwerpunkten bei Pb-/Zn-Mineralen, Pyrit, Markasit, Baryt und Fluorit feststellbar. Die in den Bachsedimenten gemessenen höheren Cd-Konzentrationen lassen sich hier sehr gut den in den Erzmineralen gemessenen Cd-Konzentrationen (eisenarmen Sphalerite 0,13–0,48 %, eisenreiche Sphalerite 0,07–0,22 %, Hydrozinkit 0,02–0,09 %, Smithsonit 0,22–0,3 %) zuordnen.

Die Erzaufbereitung/-anreicherung erfolgte in den letzten Jahrzehnten in Kreuth mit Hilfe der Schwereretrennung. Darauf verweisen die Gehalte von Ferrosilizium, Eisen-Silizium-Mangan-Legierungen und metallischem Titan im Schwermineralanteil der Bachsedimente. Fluorit ist als Restprodukt der Erzaufbereitung über lange Zeit direkt mit den Aufbereitungsabgängen in den Nötschbach eingebracht worden und in den Bachsedimenten noch immer verifizierbar. Vor der Errichtung der modernen Buntmetallverhüttung in Arnoldstein erfolgte die Verhüttung der Blei-Zink-Erze an verschiedenen Standorten im Bleiberger Tal, belegt durch häufigen Buntmetallschlackenanteil im Sediment des Nötsch- und Weißenbaches. Typische Phasen aus der Eisenverarbeitung (Eisengießerei- und Eisenverhüttungsschlacken) stammen hingegen von metallverarbeitenden Betrieben/Werkstätten im Umfeld des Bergbaus.

Im Raum Arnoldstein (Nötschbach, Gailitz, Gail) konzentrieren und überlagern sich die Einflüsse aus den Pb-Zn-Lagerstätten, Aufbereitungen und Verhüttung einerseits und sonstiger gewerblicher und industrieller Tätigkeit im direkten Umfeld andererseits. Hier waren und sind Metallverarbeitungs- und Recyclingbetriebe angesiedelt, unter anderem auch auf dem Standort der ehemaligen Zinkelektrolyse Arnoldstein. Im Sediment des Probepunktes im Mündungsbereich der Gailitz in die Gail (direkt neben dem Industrieareal Arnoldstein) sind Schlacken und Flugstäube aus den verschiedenen technogenen Prozessen nachzuweisen – aus Verbrennungsanlagen, aus der Metallgießerei (Kupfer-Zinn-Nickel-Legierung), aus der Buntmetallverhüttung (überwiegend Blei-Zinn; untergeordnet auch Blei und Zinn). Die Schwermetallverteilungen und -konzentrationen (Blei, Zinn, Cadmium, Barium, Molybdän, Arsen) in den Sedimenten der entsprechenden Flussabschnitte spiegeln alle diese Einflüsse wider. Das dichte Beprobungsnetz der Flusssedimentgeochemie ermöglicht also eine fast lückenlose Darstellung dynamischer Prozesse in der Konzentrationsverteilung stärker belasteter Hauptflüsse. Unter Einbeziehung ergänzender mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungsmethoden können schließlich Spurenelementquellen und die Einflüsse technogener Prozesse auf die Oberflächenwässer sehr präzise erkannt werden (Tab. 28).

Tab. 28. Geogene und technogene Schwermetallquellen in Bach- und Flusssedimenten des Gebietes Bleiberg-Kreuth (Nötschbach, Weißenbach) und Arnoldstein (Gailitz, Gail) (aus SCHEDL et al., 2008). ▶

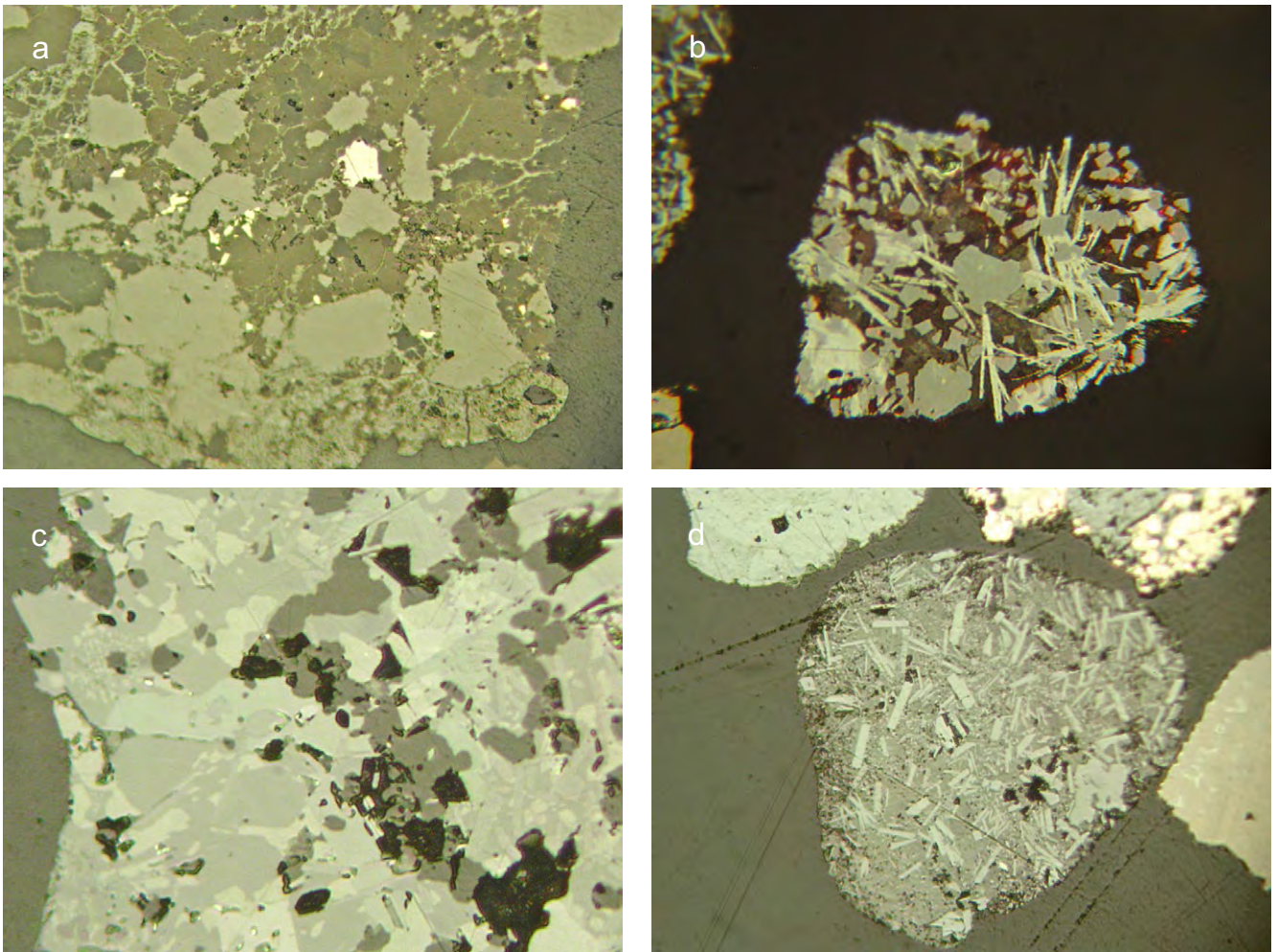


Abb. 196.

Typische geogene und technogene Phasen des historischen Buntmetallbergbaus und der Buntmetallindustrie in Flusssedimenten aus dem Raum Bleiberg-Kreuth und Arnoldstein (aus SCHEDL et al., 2008).

a) Vererzung (Sphalerit und Galenit in kataklastischem Dolomit), b) Blei-Zink-Schlacke (Plumboferritnadeln, Pb-Zn-Fe-Spinell, Bleioxid), c) Zinkschlacke (Magnetit, Calciumferrit, Sphalerit), d) Bleischlacke (Magnetoplumbit, Bleisilikat, Pb-Zn-Fe-Spinell).

Herkunft der Schwermetalle	Geogene Mineralphasen	Technogene Mineralphasen
Pb	Galenit, Anglesit, Cerussit, Sphalerit, Wulfenit	Pb-Zn-Legierung, Larsenit (Bleisilikat), (Pb, Zn)-Ferrit, RO-Phase, Pb-Sn-Legierung, Sn-Cu-Ni-Pb-Legierung, Pb-Sn-Oxid, Bleioxid, metall. Blei, Magnetoplumbit, Willemit, Glasphase.
Zn	Sphalerit, Hemimorphit, Hydrozinkit, Smithsonit	Pb-Zn-Legierung, (Cu, Zn)-Spinell, (Fe, Zn)-Spinell, (Pb, Zn)-Ferrit, Zinkferrit, (Ba, Ca)-Ferrit, Zinkfayalit, Magnetoplumbit, RO-Phase, Pyrrhotin, Larsenit, Olivin-Mischkristalle, Magnetit, Willemit (Zinksilikat), metall. Zink, Glasphase.
Cu		(Cu, Fe, Mn)-Spinell, (Fe, Mn)-Spinell, Sn-Cu-Ni-Pb-Legierung, metall. Kupfer, Pyrrhotin, Bornit, Digenit, Glasphase.
V		(Cr, Fe, Mn)-Spinell.
Cr		(Cr, Fe, Mn)-Spinell, (Fe, Mn)-Spinell, Ferrosilizium, Cr-Ni-Ferrolegierungen, Feuerfest-Baustoffe, Glasphase.
Sn		Pb-Sn-Legierung, Sn-Fe-Legierung, metall. Zinn, Pb-Sn-Oxid, Sn-Cu-Ni-Pb-Legierung.
Ni	Pentlandit	Sn-Cu-Ni-Pb-Legierung, (Cr, Zn)-Spinell, metall. Nickel, Glasphase.
As	Sphalerit, Galenit	Fe-As-Legierung.
Cd	Sphalerit, Galenit, Cerussit, Hydrozinkit	
Ba	Baryt	RO-Phase, Bariumsilikat, (Ba, Ca)-Ferrit, Glasphase.
Mo	Wulfenit	

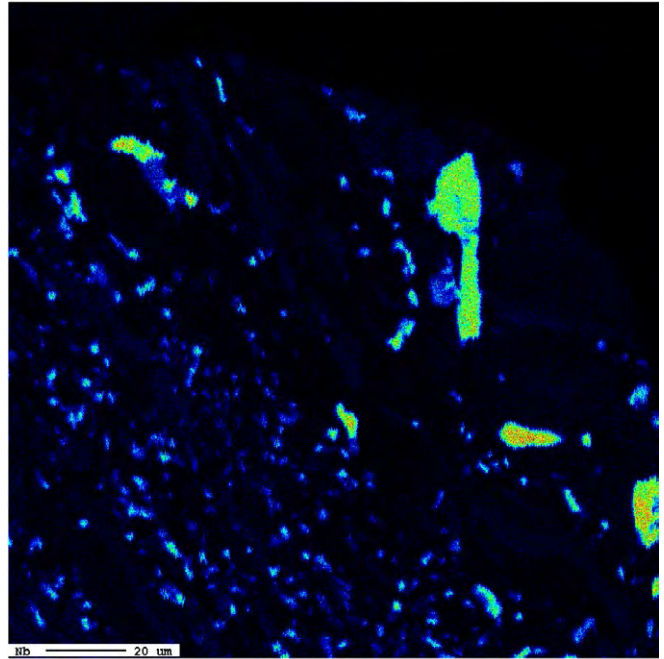
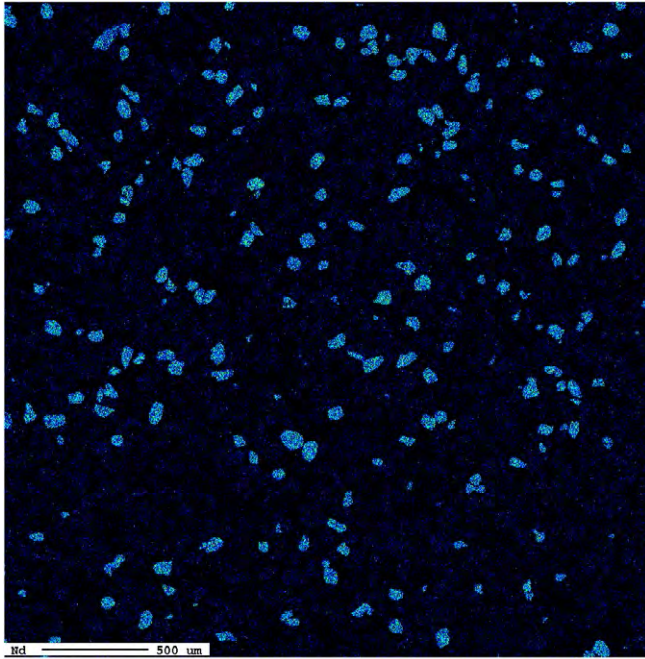


Abb. 197. Neodym führende Monazite (links), Einschluss von Columbit-(Fe) $\text{Fe}^{2+}\text{Nb}_2\text{O}_6$ in Cassiterit SnO_2 (rechts); Schwermineralkonzentrate aus Sanden im Gebiet nördlich Gmünd (aus SCHEDL et al., 2014).

Typische geogene Mineralphasen in den Bachsedimenten des Gebiets Bleiberg-Kreuth und Arnoldstein decken sich also sehr gut mit dem mineralogischen Gesamtspektrum der in diesem Gebiet auftretenden Blei-Zink-Vererzungen. Typische Vertreter technogener Phasen sind hingegen vor allem Blei- und Zinkschlacken, Metallgießereischlacken, Eisenhüttenschlacken, Legierungen, Zundermaterial sowie Verbrennungsanlagenschlacken.

Trotz des bereits erfolgten Abschlusses der bundesweiten geochemischen Kartierung spielt die mineralogisch-mikrochemische Untersuchung von geogenen Mineralphasen in Bach- und Flusssedimenten bei aktuellen Rohstoff-Untersuchungsprogrammen in Österreich weiterhin eine wichtige Rolle. Aktueller Einsatzbereich ist die Untersuchung

von Trägerphasen (Abb. 197) kritischer Rohstoffe (Seltene Erden, Niob, Tantal u.a.) in verschiedenen Hoffungsgebieten (SCHEDL et al., 2013, 2014). Untersucht wurden dabei vor allem Schwermineralspektren in Bachsedimenten und in höffigen Sedimentkörpern im Umkreis mineralisierter Kristallinareale. Weiters wurden mit dieser Arbeitsmethodik Schwermineralkonzentrate in diversen Rohstoff-Aufbereitungsprozessen der Quarzsand- und Kaolinindustrie im Hinblick auf ihre Sekundärrohstoffpotenziale untersucht. Die konkrete Ansprache der Trägerminerale kritischer Rohstoffe ist dabei eine wichtige Voraussetzung zukünftiger Prospektionsstrategien. Mineralogisch-mikrochemische Phasenuntersuchungen sind für diese spezifische Rohstoff-Fragestellung der herkömmlichen Multielementanalytik von Gesamtproben weit überlegen.