

GEOÖKO

Gentzgasse 17/1/6, 1180 Wien, Tel. + Fax 0222/4796291

Hieflauerstraße 20, 8790 Eisenerz, Tel. 03848/5161-0, Fax 03848/5161-4

***Bewertung von Schwermetallverteilungen in Böden
und Flußsedimenten mit Hilfe angewandt mineralogischer
und geostatistischer Werkzeuge.***

NEINAVAIE, H. & PIRKL, H.

***Berichte der Geologischen Bundesanstalt - Band 34
< ISSN 1017-8880 >***

April 1996

***67 Seiten, 17 Abb., 6 Tabellen
Anhang***

IMPRESSUM: Alle Rechte vorbehalten.

© Geologische Bundesanstalt, Wien, Österreich.

Medieninhaber, Herausgeber und Verleger: Verlag der Geologischen Bundesanstalt, A-1031 Wien, Postfach 127,
Rasumofskygasse 23, Austria.

Verlagsort und Gerichtsstand ist Wien.

Ziel der „Berichte der Geologischen Bundesanstalt“ ist die Verbreitung erdwissenschaftlicher Ergebnisse.

Die „Berichte der Geologischen Bundesanstalt“ sind im Buchhandel nicht erhältlich. Bestellungen an den
Verlag der Geologischen Bundesanstalt, Postfach 127, A-1031 Wien.

Inhalt

	Seite
1. Zusammenfassung	4
2. Zielsystem	7
3. Methodische Werkzeuge	9
3.1 Mineralogie	9
3.2 Geostatistik	13
4. Fallstudien	15
4.1 Krappfeld - Beispiel für Trennung technogen/geogener Schwermetall- verteilungen	15
4.2 Voitsberg-Köflacher Becken Beispiel für Differenzierung von Emittenten	27
4.3 Leoben - Donawitz Beispiel für Bewertungszugang eines Hauptemittenten über verschiedene Probemedien	36
4.4 Bleiburg - Völkermarkt Beispiel für grenzüberschreitende Immission	47
4.5 Salzach Beispiel für Bewertung von Schwermetallgehalten in alpinen Flüssen	50
5. Literatur, Unterlagen	61

1. Zusammenfassung

Die zur Erarbeitung des „Geochemischen Atlas des Bundesgebietes“ mittels Bachsedimente parallel laufende Wolfram-(Scheelit-)Prospektion führte zum Erkennen zahlreicher neuer Wolfram-Anomalien. Die Verifizierung dieser analytisch eingegrenzten W-Anomalien wurde in einem zweiten Schritt meist mittels UV-Nachtprospektion zu verifizieren versucht. Dabei mußte immer wieder festgestellt werden, daß die W-Analytik sich nicht automatisch auf Scheelit-Vorkommen rückbeziehen ließ. Aus diesem Grund wurden systematisch petrographisch-mineralogische Methoden eingesetzt und weiterentwickelt.

Als Ergebnis kristallisierte sich die, an sich lehrbuchmäßige Tatsache heraus, daß verbreitet Spurenelementgehalte (W, Mo, Cu, Zn, Pb) bis in Prozentziffern in häufig auftretenden akzessorischen Mineralen (wie z.B. Rutil, Ilmenit u.a.), aber auch in gesteinsbildenden Mineralen, wie Amphibolen oder Chloriten, eingebaut sind. Unbekannt war jedoch die Häufigkeit des Phänomens, das sich durch folgende systematische Untersuchungen immer mehr bestätigte.

Damit war auch ein erster Ansatzpunkt für die Bewertung geogener Schwermetallangebote und deren Mobilität über chemisch-analytische Methoden hinaus gefunden. 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. Im Gegensatz zu z.B. Ni-Cr-Gehalten in leicht verwitterbaren Sulfiden werden Ni-Gehalte in Chloriten nur stark verzögert in den Verwitterungskreislauf freigesetzt. Diese Unterscheidung kann rein aus den analytischen Daten, sei es Gesamt- oder Königswasseraufschluß, nicht getroffen werden und wird analytisch überbrückt durch aufwendige Teilextraktionen.

Diese Vorgangsweise hat sich auch schon in mehreren Gebieten Österreichs zur Flankierung von Interpretationen bodengeochemischer Daten im Zuge von Bodenzustandsbewertungen bewährt.

Parallel zur methodischen Weiterentwicklung in geowissenschaftlichen und pedologischen Forschungsprojekten wurden diese methodischen Erfahrungen auch gezielt bei Fragestellungen und Problemen der Hüttenindustrie, Altlastenbewertung und Immissionsabgrenzung eingesetzt mit einer großen Bandbreite

- Probleme mit Ofenauskleidung Fe-Hütte
- Altlastenbewertung Schlackenhalde (Fe-Hütte, Stahlwerk)
- Definition und lokal/regionale Trennung von Emittenten anhand von Staubimmissionen für bestehende und/oder bereits stillgelegte

Pb-Zn-Verhüttung

Glashütten

Kohlekraftwerke

Sondermetallverarbeitung

Stahlwerk.

Bei flächenbezogenen Studien wurde es dadurch möglich, gezielt Emissions-Immissionspfade zu verfolgen (Asche-Schlacke-Flugstäube-staubförmige Immissionen), sowie Nah- und Fernverfrachtungen (über Korngrößen, Phasentrennung und -anreicherung) zu unterscheiden. Aus dem Vergleich von ähnlichen Phasen, die einerseits bereits länger auf Halde oder im Boden liegen, mit andererseits frischen Phasen lassen sich bereits lichtoptisch Veränderungen durch Verwitterungsvorgänge beschreiben - ein weiterer Zugang zur Abschätzung der Mobilisierbarkeit.

In aktiven Flußsedimenten, aber auch insbesondere in Auflage-Horizonten rezenter Überflutungsflächen, reichern sich in der Schwermineralfraktion die spurenelementreichen Phasen an, die meist einen integrierten Querschnitt entsprechender geogener und technogener Phasen des Einzugsgebietes wiedergeben. Mit gezielter Auswahl solcher Probepunkte lassen sich rasch über die Bestimmung der Mineralphasen die wichtigsten Schwermineralenemittenten und -quellen des Einzugsgebietes charakterisieren.

Schon mehrmals gelang es mit dem entwickelten Methodenspektrum, an Bodenprofilen mit durchgehend lokalen und vergleichbaren Schwermetallpegeln von Auflage bis Unterboden innerhalb des gleichen Profils, technogene Immission in Auflage und Oberboden von geogenen Quellen im Unterboden klar zu trennen, sowie hinsichtlich ihrer oft unterschiedlichen Risiken zu bewerten.

Analog zur Vorgangsweise mit Proben aus dem Naturraum (Boden-Bachsedimente) werden die gleichen Bearbeitungsschritte auch an Stäuben, Schlämmen, Schlacken und Aschen aus technischen Prozessen mit hoher Ergebnisrelevanz ausgeführt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß mit Hilfe von gezielten Mineralphasenanalysen eine rasche Ansprache und Bewertung von Immissionssituationen, Trennung von Emittenten und Risikoeinschätzung möglich werden.

Dies trifft aufgrund der vorliegenden Erfahrungen insbesondere für die Absicherung von Interpretations- und Bewertungsschritten systematischer Naturraummonitoring-Programme zu (Bodenzustandsinventuren, Gewässergüteerhebung, u.a.).

Einzuschränken ist dazu, daß der instrumentelle, zeitliche und finanzielle Aufwand pro Probe als relativ hoch einzustufen ist.

Eine Optimierung ist möglich, wenn die jeweilige Fragestellung präzise eingrenzbar ist und vergleichbare Erfahrungen (Untersuchungen) bereits vorliegen.

Zu letzteren wäre notwendig und hilfreich, anhand isoliert gelegener Industrieanlagen (bestehende und/oder historische) als Vergleichsmaterial katalogartig typische und indikative Mineralphasengruppen zu bestimmen und zu dokumentieren.

Die Vernetzung und Rückkoppelung zwischen den angewandten mineralogischen Studien und geostatistischen Verrechnungen geochemischer Analysen kann in weiterer Folge die abgesicherte, flächenbezogene Trennung geogener und technogener Schwermetallverteilungen und deren Bewertung ermöglichen.

2. Zielsystem

Über mannigfaltige Emissions-Immissions-Pfade werden im österreichischen Siedlungs- und Naturraum neben anderen Schadstoffen in steigendem Maße Schwermetalle und anorganische Schadelemente abgelagert. In der Gesamtimmisionsbilanz (trockene + nasse Deposition) steckt zwar ein überwiegender Anteil grenzüberschreitender Schadstofftransporte darin (ÖSTAT & UBA 1994, KOVAR & PUXBAUM 1992), die Schwermetallbelastung (aus staubförmiger Deposition) dürfte jedoch zum größeren Teil aus eigenen Quellen stammen.

Auf diese Erkenntnis reagiert die Verwaltungs- und Forschungspraxis einerseits mit systematischen Untersuchungs- und Monitoringprogrammen (wie z.B. Bodenzustandsinventur, Waldschadenbeobachtungssystem, Wassergüteehebung/Sedimente, „Geochemischer Atlas“) und andererseits mit der Diskussion und Festlegung von Grenz- und Richtwerten. Die systematischen, überregionalen Erhebungen beziehen sich dabei auf die beiden Hauptverbreitungsmechanismen

- a) über die Luft/flächenhaft → BZI, WZI, Bioindikatormetz und
- b) über das Vorflutsystem/punktuell, linear → WGEV, „Geochemischer Atlas“,

wobei die Methodik jeweils auf die spezifische Fragestellung ausgerichtet wurde. Sowohl die überregionalen Beobachtungsprogramme, als auch gezielte Studien in Industrieregionen (z.B. HALBWACHS 1982, KASPEROWSKI 1993, SPINDELBACKER 1990, VOGEL 1991, WEISS 1992) stützen sich in der Hauptsache auf die chemische Analytik verschiedener Indikatormedien (Böden, Pflanzen, u.a.).

Im Konzept der Bewertung kritischer Schwellenwerte (critical loads/levels“) sind jedoch neben den aktuellen Gehalten auch die „Vorbelastungen“ (geogene Hintergrundwerte + historische Immission) und die Rahmenbedingungen, wie geochemisch-hydrochemisches Umfeld, Landschaftsnutzung, Landschaftsdynamik und Rückhaltevermögen, zu berücksichtigen. Eine chemische Bestimmung der aktuellen Gesamtgehalte an Schwermetallen und/oder anorganischen Schadstoffen reicht dafür sicher nicht aus!

Um wenigstens die mobilen (bioverfügbaren) Anteile eingrenzen zu können, werden häufig Methoden der Eluatbestimmung oder fraktionierter Analytik benutzt. Trotz des hohen Aufwandes sind daraus aber auch nur ansatzweise Hinweise auf die jeweiligen Quellen ableitbar.

Um die geogenen Hintergrundwerte wenigstens annähernd von anthropogenen Verteilungen grob abzugrenzen, bedient man sich im Rahmen der überregionalen und regionalen Monitoringprogramme entweder der Gegenüberstellung zu gebräuchlichen oder verordneten Grenz- und Richtwerten oder verwendet einfache Rechenschritte für statistisch abgeleitete Schwellenwerte.

In manchen Fällen wurde als Vergleichsmaterial der „Geochemische Atlas“ herangezogen, wobei freilich meist das verrechnete Muster der publizierten Karten und nicht das Basismaterial als Vergleichs- und Auswertungsbasis unterlegt wurde.

Letztere Vorgangsweise erscheint ebenfalls problematisch, da einerseits über die Klassenbildung und den Verrechnungsalgorithmus der Einzelementkarten lokale oder kleinregionale „Anomalien“ unterdrückt oder verschleiert werden, andererseits die Vielfältigkeit und Häufigkeit alpiner Mineralisationen - in Abhängigkeit geologisch-lithologischer Situationen - nur über Multielementbetrachtungen interpretierbar werden.

Komplexere multivariate Geostatistik ermöglichte am Material der Bachsedimentgeochemie („Geochemischer Atlas“) schon mehrmals Zugänge zur Interpretation von Schwermetallverteilungen hinsichtlich ihrer geogenen Quellen.

Im Zuge systematischer Auswertungen der geochemischen Analytik für Prospektionsvorhaben zeigten sich aber immer dann die Grenzen auch der geostatistischen Werkzeuge, wenn keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Elementverteilungen/Elementverknüpfungen und Mineralisationen oder bestimmten geologischen Strukturen herzustellen waren. In diesen Fällen wurden gezielt mineralogische Phasenanalysen an Gesteins-, Boden- oder Bachsediment-(Schwermineral-)Proben eingesetzt (NEINAVAIE 1987 - 1991).

Als Hauptergebnis dieser Bearbeitungsphase ist die Tatsache hervorzuheben, daß verbreitet Schwermetallgehalte (Ni, Cr, Cu, Pb, Zn) als Spuren - bis in Prozentmengen - in gesteinsbildenden Mineralen, wie Chlorit, Hornblenden und Feldspäten, sowie in akzessorischen Mineralen, wie Rutil, Chromit, u.a. im Gitter eingebaut anzutreffen sind. Dies ist zwar lehrbuchmäßig prinzipiell bekannt, daß jedoch flächenmäßig eine so weite Verbreitung dieses Phänomens besteht und sogar ausgedehntere „Anomalien“ im Geochemischen Atlas darauf zurückgeführt werden können, war eine vollkommen neue Erkenntnis.

Darauf aufbauend wurden dann in der Folge diese mineralogischen Phasenanalysen methodisch auch im Zuge von Bodenzustandsaufnahmen eingesetzt und weiterentwickelt (NEINAVAIE 1991-1995). Damit war eine echte Bestimmung der jeweiligen Schwermetallquellen möglich, mit klarer Trennung zwischen geogenen und technogenen Verteilungen. Technogen-industrielle Emissionen konnten dabei nicht nur nach einzelnen Emittenten unterschieden werden, sondern es war in mehreren Fällen darüberhinaus noch möglich, Emissionen unterschiedlicher Produktions- oder Verarbeitungsprozesse innerhalb eines Großemittenten voneinander zu trennen.

Sowohl in Böden, als auch in Flußsedimenten gelang daneben der Nachweis der Staubimmissionen von Betrieben, die bereits jahrzehntelang geschlossen waren.

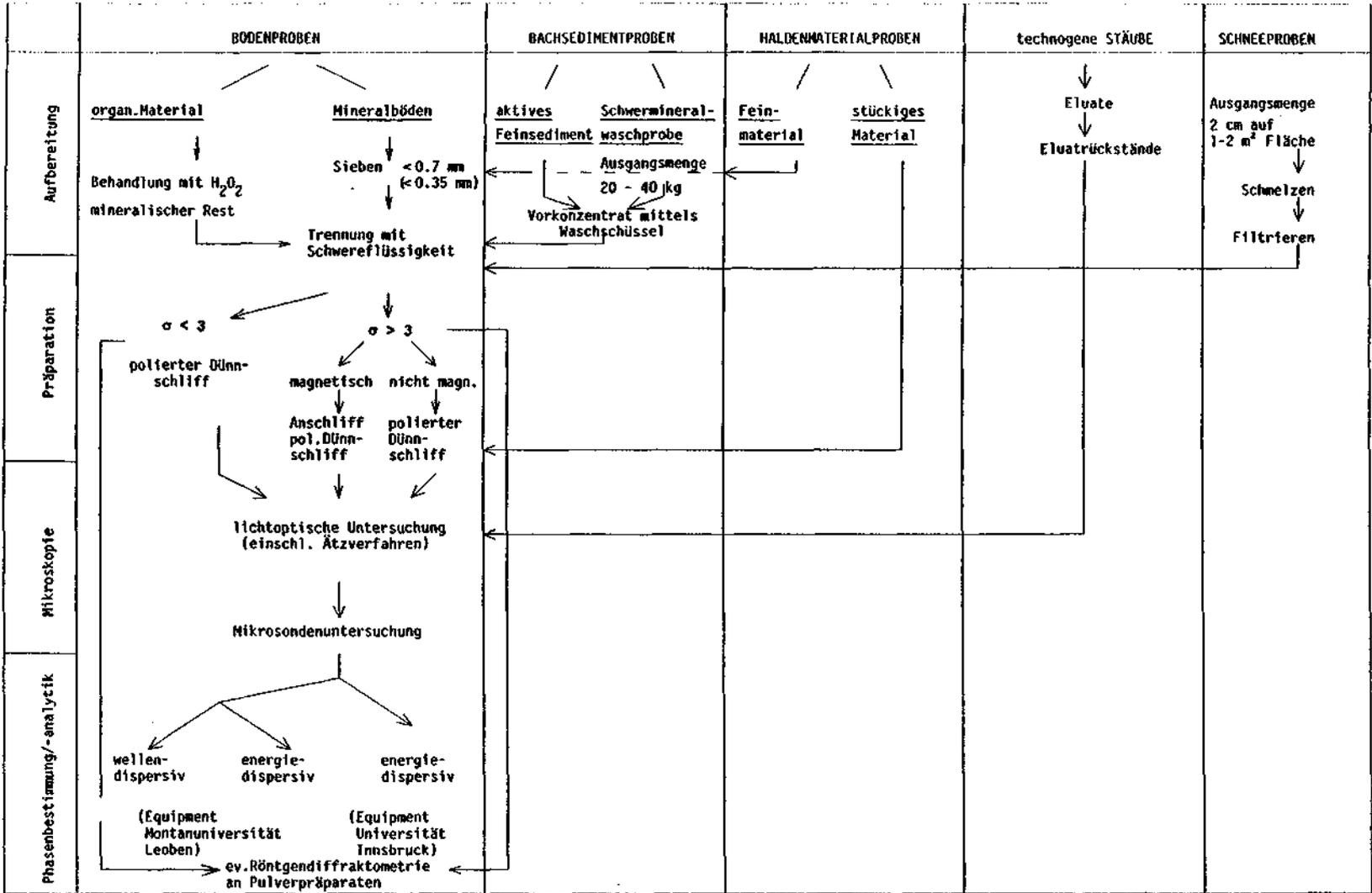
Im Folgenden werden nun diese Entwicklungen und Erfahrungen anhand beispielhafter Fallstudien dargestellt und diskutiert.

3. Methodische Werkzeuge

3.1 Mineralogie

Neben den bereits oben erwähnten Boden- und Bachsedimentproben wurden in den letzten Jahren auch Material von Bergbau- und Hüttenhalden, technogene Stäube (z.B. Filterrückstände) und Staubrückstände aus Schneeproben nach einer einheitlichen Vorgangsweise nach komplexer Aufbereitung und Präparation untersucht (siehe Abb. 1).

Abb. 1: Aufbereitungs-, Präparations- und Untersuchungs-gang für mineralogische Phasenanalyse unterschiedlicher Probedmedien



Falls eine Absicherung mittels Röntgendiffraktometrie nötig erscheint, werden auch Pulverpräparate aus einzelnen Fraktionen erzeugt.

lichtoptische Mikroskopie:

- übersichtsmäßige Durchsicht des gesamten Probenmaterials < 0.7 mm unter dem Binokular; Fotodokumentation

- erste Ansprache und Bestimmung der Paragenesen und Mineralphasen mittels Auf- und Durchlichtmikroskopie, einschließlich Ätzverfahren, Auswahl und Markierung gezielt weiterzubearbeitender Phasen; Fotodokumentation

qualitative Phasenanalytik:

In Zusammenarbeit mit dem mineralogischen Institut der Montanuniversität Leoben werden qualitative und z.T. semiquantitative Analysen an den ausgewählten Mineralphasen mittels deren Mikrosonde und EDAX ausgeführt. Damit wird es möglich, mit Hilfe der entsprechenden Erfahrung die jeweilige Mineralphase prinzipiell zu identifizieren und eingebaute Spurenelementgehalte festzustellen.

quantitative Phasenanalytik:

In vielen Fällen ist eine qualitative Untersuchung allein nicht ausreichend und zusätzlich auch ein Nachweis der jeweiligen Bindungsform notwendig, um die Mineralphase im Detail auch hinsichtlich ihrer Genese beschreiben zu können.

Dies ist möglich in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mineralogie der Universität Innsbruck, wo in Verbindung mit einer Mikrosonde ein neues energiedispersives System installiert ist, dessen Detektor einen simultanen Nachweis des Elementspektrums ab Bor bis Uran zulässt und damit eine quantitative und qualitative Analyse erlaubt.

Mittels einer spezifisch entwickelten Software ist dabei möglich, vollquantitative Analysen einzelner Mineralphasen oder Ausschnitte von diesen, einschließlich der Berechnung und Dokumentation der Bindungsformen, zu berechnen. Darüberhinaus können über Elementverteilungsbilder Spurenelementverteilungen innerhalb der Phasen visualisiert werden.

Absicherung der Phasenansprache mittels Röntgendiffraktometrie

In Fällen feinstkörniger Verwachsungen, überwiegend in Vorkommen von Glasphasen, stark aufgelockerten Verwitterungsprodukten und/oder unklaren Ergebnissen der semiquantitativen Analytik werden zur Absicherung der Aussagen zusätzlich Röntgen-Diffraktometrie-Aufnahmen angefertigt.

Zur Interpretation von - in Schlacken oder auf Deponien häufig vorkommenden - Mischphasen oder Mineralneubildungen kann auf umfangreiches eigenes Vergleichs- und Auswertungsmaterial zurückgegriffen werden.

3.2 Geostatistik

Moderne PC-gestützte Werkzeuge der Geostatistik erlauben einen raschen Zugang zur Gliederung und Analyse auch sehr umfangreicher Datensätze. Die Verknüpfung von CAD- oder GIS-Software mit Statistikpaketen ermöglicht darüberhinaus den Schritt von der Datenanalyse zur flächenbezogenen Visualisierung. Dafür ist keine Spezialsoftware notwendig, die nur Insidern zugänglich ist; die Auswertungsschritte sind durchaus mit einer Kombination weitverbreiteter kommerzieller Softwareprogramme durchführbar.

Die Methoden der explorativen Datenanalyse wurden in den letzten Jahren intensiv insbesondere für Prospektionszwecke durch die Montanwissenschaftler weiterentwickelt. Mit dem Stagnieren der Rohstoffforschung in Österreich ging auch der Einsatz dieser Arbeitsrichtung stark zurück. Da die Umsetzung geochemischer Datensätze in der Naturraumanalyse, bei landschaftsökologischen Kartierungen und umweltgeochemischen Fragestellungen in Österreich noch keine Tradition besitzt, werden geostatistische Werkzeuge bei der Bewertung geochemischer Daten im Rahmen obiger Forschungslinien erst in Ansätzen benutzt.

Für eine sinnvolle Bewertung der Ergebnisse der laufenden flächendeckenden Monitoringprogramme an Böden und Gewässern (BZI, WZI, WBS, WGEV) wird in naher Zukunft jedoch die Aufarbeitung der vorhandenen, umfangreichen geochemischen Datensätze zur flankierenden Interpretation notwendig werden!

Die Erfahrungen aus einer Reihe umweltgeochemischer Forschungsprojekte mit der Verwendung geostatistischer Werkzeuge belegen Anwendungsmöglichkeiten für

- Analyse von Fehlerquellen und konkreten Fehlern
bei den einzelnen Arbeitsschritten Probenahme/Aufbereitung/Analytik
(große Probenserien, Multielementanalytik)
- Abgrenzung geogener Hintergrundwerte von Spurenelementen in Abhängigkeit von
geologisch-lithologischen Einheiten
- Plausibilität und Interpretierbarkeit von „Ausreißerwerten“
- Plausibilität von Elementgruppierungen über multivariate Statistik
- Ansätze zur Trennung geogener und technogener Spurenelementverteilungen

Bei der Interpretation von Ausreißerwerten, sowie bei Trennungsversuchen geogen/technogen allein mittels Geostatistik zeigten sich in vielen Fällen die Grenzen der Methodik. Deshalb wurde auch die Methodenkombination Geostatistik/Mineralogie gewählt und weiterentwickelt.

Als häufigste geostatistische Methoden werden bei der Auswertung geochemischer Datensätze eingesetzt:

robuste univariate Statistiken
Varianzanalyse
Multiple Regression
Clusteranalyse
Hauptkomponentenanalyse.

Wie auch in den folgenden Fallbeispielen gezeigt, bewährt sich häufig gerade die Hauptkomponentenanalyse bei komplexen Interpretationsüberlegungen.

4. Beispielhafte Fallstudien

4.1 Krappfeld - Beispiel für Trennung technogener/geogener Schwermetallverteilungen

Im Zuge systematischer hydrogeologisch-hydrochemischer und wasserwirtschaftlicher Studien des Grundwasserpotentials durch das Amt der Kärntner Landesregierung in den pleistozänen Sedimenten des Krappfeldes mußte eine massive Belastung des zweiten Grundwasserstockwerkes mit Schwermetallen (insbesondere Chrom) festgestellt werden. Für eine zukünftige Nutzung dieses regional wichtigen Potentials stellte sich somit die Frage nach der Quelle des Schwermetalleintrages und der Möglichkeiten, das Belastungsrisiko zu verringern oder, wenn möglich, auch abzustellen.

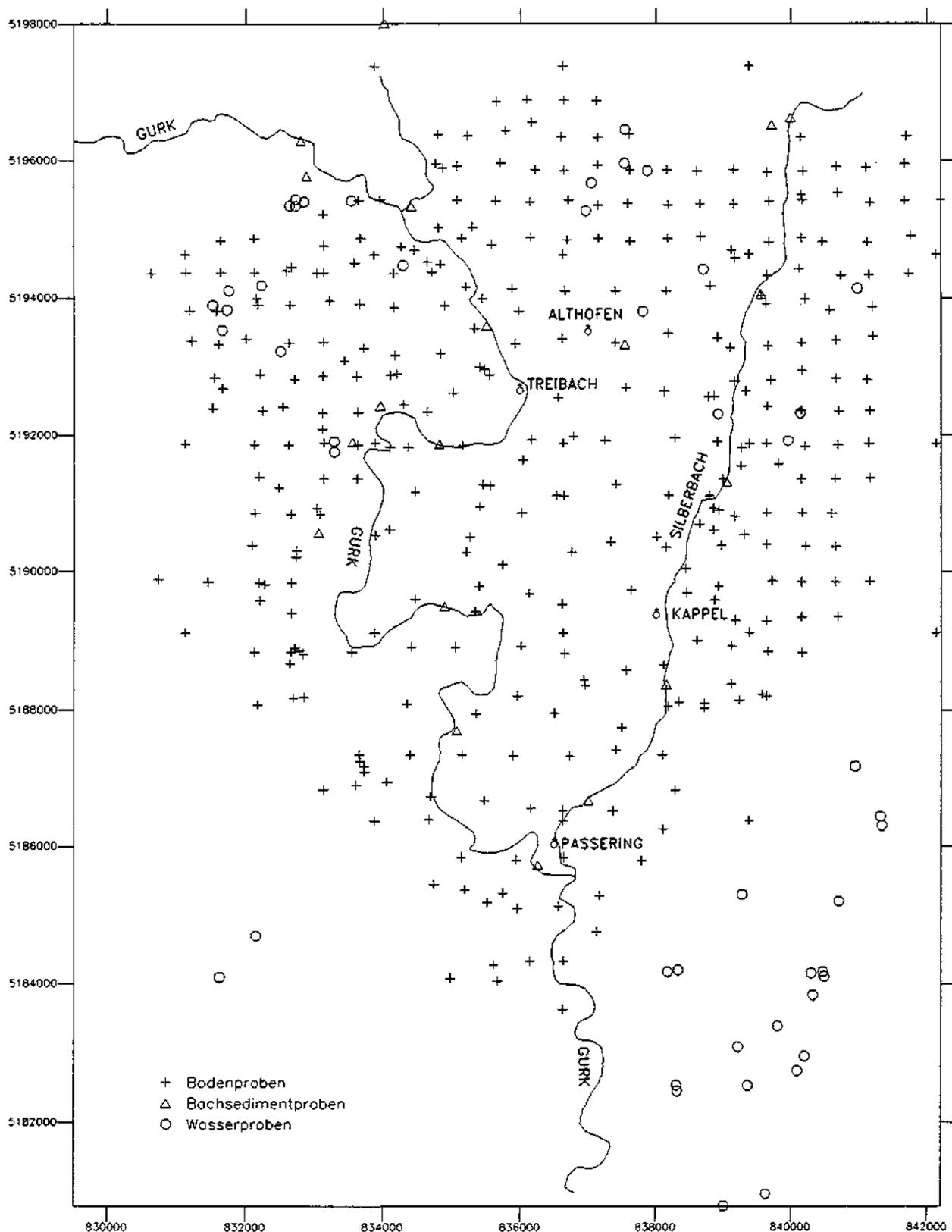
Aus der regionalen Siedlungs- und Betriebsstruktur heraus, sowie zahlreichen Vorarbeiten, war der Hauptemittent natürlich prinzipiell bekannt - die Treibacher Chemischen Werke; die möglichen Emissions-Immissionspfade, sowie die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeitsgrenzen des Naturraumes, diese Immissionen zu verkraften, waren flächenhaft im Umfeld Treibach-Althofen jedoch noch nicht abgeklärt.

Aus diesem Grunde wurde ein Forschungsprojekt konzipiert und beauftragt, das sich mit der „Beschreibung des Bodenzustandes im Krappfeld hinsichtlich Problemelementbelastung in Abhängigkeit des geogenen Angebotes bzw. der anthropogenen Beeinflussung sowie die Bewertung von Böden in der Funktion als Schutzschicht über dem Grundwasser“ (PIRKL 1993) beschäftigen sollte.

Dieses Forschungsprojekt war von Beginn weg konsequent interdisziplinär strukturiert (Pedologe, Geologen, Mineralogen, Geochemiker), um die Ansprüche und gesteckten Ziele, die sich bereits im Titel ausdrücken, erreichen zu können. Methodisch wurden dazu eingesetzt:

- ein dichtes Beprobungsnetz Böden
- Bachsedimentprobenahmen
- Beprobung von Quellen und Bächen/hydrochemische Analytik
- Multielementanalytik, Messung und Analytik pedologischer Parameter an den
Bodenproben

- **fraktionierte Analytik von Haupt- und Spurenelementen an Bachsedimenten und Böden**
- **mineralogische Phasenanalytik an Auflage-/Oberboden- und Unterbodenproben**
- **uni- und multivariate geostatistische Tests und Verrechnungen aller Analysendaten aus dem gegenständlichen Projekt und Vorprojekten („Geochemischer Atlas“, Kontrollbeprobungen)**



**Abb. 2 : Bodenzustand Krappfeld, Lageverteilung der Bodenprobe-
punkte; Flußsediment- und Wasserproben**

Damit war es möglich, nicht nur flächenhafte Istzustandsdarstellungen zu Schwermetallbelastungen vorzulegen, sondern auch echte Ansätze zu kausal- und wirkungsanalytischen Überlegungen zu bestehenden Emissions-Immissionspfaden zu entwickeln.

Beispielhaft wird für diese Publikation eine zentrale Fragestellung und deren Lösungsansatz herausgegriffen.

Im Vergleich der bachsediment- und bodengeochemischen Analysenergebnisse mit Analysen der Staubemissionen der TCW kristallisierte sich die Problematik heraus, daß damit zu rechnen wäre, daß gewisse Elementkombinationen - wie Nickel, Chrom, Vanadium, Wolfram, Niob, Yttrium, Molybdän und/oder Titan - sowohl aus geogenen, wie aus technogenen Quellen, stammen können. Diese Phänomene allein anhand der chemischen Analytik zu trennen, erschien nicht möglich. Deshalb wurde in diesem Projekt zum ersten Mal konsequent der Weg beschritten, die jeweiligen Spurenelementquellen in den Mineralphasen selbst direkt zu bestimmen. Dafür wurde das Material derjenigen Bodenprobepunkte herangezogen, die in der chemischen Analytik erhöhte Schwermetallpegel zeigten.

In den nachfolgenden Tabellen werden die Hauptergebnisse dieser Mineralphasen an Bodenproben tabellarisch zusammengefaßt (Methodik s. Kap. 3.1), die die hauptsächliche Basis für die Kausalanalyse bildeten.

Tabelle 1: Geogene und technogene Quellen für die wichtigsten Spurenelemente in Böden des Krappfeldes und dessen Rahmen

Element	geogene Phasen	technogene Phasen
As	Pentlandit	metall. Eisen
B	Turmalin	Ferrosilicium
Ba	Baryt Feldspäte	Mn-Oxyde Brownmillerit
Ce	Monazit	RE-Phosphat ("Monazit") Cerferrit Ceroxyd Calciumferrit
Cl	Chlorit Biotit Amphibole (Mn,Fe-)Oxyde Chromspinell Magnetit	(Mn,Fe-)Oxyde Mn-Fayalit Chromspinell Magnetit silikat. Glasphase Nickelsilikat (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? Calciumferrit Mischkarbide
Co	Pentlandit Chlorit Magnetkies Pyrit	Magnetkies metall. Eisen metall. Nickel
Cr	Serpentin Pentlandit Chrom-Eisen-Spinell Chromit Chlorit Amphibole Rutil Spinell Titanit Chrom-Magnetit	Chrom-Eisen-Spinell Chromit Spinell Chrom-Magnetit (Fe-W)-Karbid (Mo,W,Fe)Oxyd-Mischphasen (Cr,Ni)-Ferrolegierungen (Cr,Ni)-Legierungen (W,Sn)-Ferrolegierungen (Cr,Ni,Fe)-Carbonyl? Ferrosilicium metall. Eisen (Cr,V)Spinell silikat. Glasphase
Cu	Magnetkies Kupferkies Covellin Kupferglanz	metall. Nickel metall. Eisen Eisensulfat Ferrosilicium Calciumferrit silikat. Glasphase Messing
F		Apatit Nickelsilikat
Ge		Cerferrit
La,Pr,Sm,Nd	Monazit	Cerferrit

Mn	<p>Ilmenit Magnetit Chromit Chrom-Eisenspinell Magnetkies Granat Pentlandit</p>	<p>Wüstit Magnetit Spinell Chromit Chrom-Eisenspinell Melilith Merwinit Mn-Fayalit (Mo,W)Oxyde metall. Eisen Jakobsit Calciumferrit Brownmillerit (Cr,Ni)-Ferrolegierungen (Fe,W)Carbonyl? silikat. Glasphase</p>
Mo		<p>Chrom-Eisenspinell (Fe,W)Carbonyl? (Mo,W,Fe)Oxyde (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? (Cr,Ni)Ferrolegierungen (Cr,Ni)Legierungen</p>
N		<p>Cerferrit Ferrosilicium</p>
Nb	Rutil	<p>(Cr,Ni)-Ferrolegierungen Calciumferrit Brownmillerit</p>
Ni	<p>Chlorit Rutil Spinell Magnetkies Chrom-Eisenspinell Serpentin Pentlandit Chrommagnetit (Fe,Mn)Oxyde Mn-Magnetit</p>	<p>Spinell Magnetkies Chrom-Eisenspinell Chrommagnetit Mn-Magnetit Wüstit Eisensulfat Calciumferrit metall. Eisen metall. Nickel (Cr,Ni)-Ferrolegierungen Melilith Merwinit Al-Oxyd (Glasphase) silikat. Glasphase metall. Silicium (W,Sn)Ferrolegierungen Nickelsilikat (Cr,Ni,Fe)Carbonyl?</p>
Ta	Rutil	<p>Calciumferrit Apatit</p>

Ti	Magnetit Ilmenit Titanit Rutil Anatas Perowskit Hämatit Amphibole Biotit Leukoxen Spinell Chromit Chrom-Eisen-Spinell	Anatas Perowskit Hämatit Calciumferrit Brownmillerit Wüstit Spinell Chromit Mn-Fayalit (Cr,Ni)Legierungen (W,Ti)Karbid (Cr,V,Fe)Oxyde metall. Titan
P	Apatit Monazit Xenotim Fe-Hydroxide	Apatit Monazit Mn-Fayalit Merwinit Spinell Fe-Hydroxide (Cr,Ni)Ferrolegierungen Glasphase (W,Sn)Ferrolegierungen metall. Eisen Nickelsilikat (Cr,Ni,Fe)Carbonyl?
S	Fe-Hydroxide div. Sulfide (Pyrit, Magnetkies, Zinkblende, Pentlandit, Kupferkies, Markasit ...)	Fe-Hydroxide (Cr,Ni)Legierungen metall. Eisen metall. Nickel Glasphase (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? Calciumferrit
Si	Silikate	metall. Silizium Ferrosilicium metall. Eisen metall. Nickel
Sn		metall. Silizium Glasphase (W,Sn)Ferrolegierungen
V	Magnetit Chrom-Eisenspinell	Apatit Magnetit Chrom-Eisenspinell (Fe,W)Carbonyl? metall. Vanadium Brownmillerit (Mo,W,Fe)-Oxyde metall. Silizium Wüstit (Cr,V,Fe)Oxyd (Spinell) Glasphase (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? Calciumferrit

W		(Fe,W)Carbonyl? (Mo,W,Fe)Oxyde "Wolframit" (Cr,Ni)Ferrolegierungen (W,Sn)Ferrolegierungen (W,Ti)Karbid
Y	Xenotim	
Yb		(Mo,W,Fe)Oxyde
Zn	Rutil Zinkblende Chromit Chrom-Eisenspinell Titanit (Fe,Mn)Oxyde Chrommagnetit Chlorit Magnetkies	Chromit Chrom-Eisenspinell (Fe,W)Carbonyl? Spinell Wüstit Nickelsilikat (Cu,Zn)Legierung
Zr	Zirkon Rutil	(Cr,Ni)Ferrolegierungen

Aus dieser Tabelle sind mehrfach Aussagen ableitbar:

- für zahlreiche Elemente liegen mehrere Quellen unterschiedlicher Genese und Verfügbarkeit vor
- geogene und technogene Quellen können sich flächenhaft überlagern
- faktisch alle technologischen Prozesse der TCW und der dabei eingesetzten Vormaterialien lassen sich in der Staubphase in Auflage und Oberböden nachweisen
- die flächenhafte Verbreitung staubförmiger Emissionen läßt sich klar charakterisieren
- die Detailanalytik der Einzelphasen erlaubt über Textur-/Struktur-Untersuchungen sowie der jeweiligen Bindungsform eine erste Abschätzung der Mobilität
- die mineralogische Analytik unterstützt die Absicherung von Elementgruppierung und deren Zuordnung, z.B.

Ce, Ni, Cr, Mo, W, V, (±) Nb

technogen

Cr, Ni, Ti, V, (±) Nb, (±) Cu

geogen

Nb, Ti, (±) Cr, (±) Ni

geogen

Aufgrund des geologisch-mineralogischen Basiswissens und der aktuell angetroffenen Oberflächentexturen der Phasen in den jeweiligen Bodenmilieus ist es möglich, eine gewisse Gruppierung nach der Verwitterbarkeit vorzunehmen:

Technogene Phasen:

x faktisch nicht oder nur schwer verwitterbar:

- metall. Vanadium
- metall. Nickel
- metall. Chrom
- Nickel-Spinelle
- Ni-Cr-Legierungen
- Calciumferrit
- Ce-Ferrite
- Ce-Oxide

x relativ leicht verwitterbar:

- Silikate (insbesondere Olivingruppe)
- Fe-Oxide (Ni,Cr!)
- Fe (Ni,Cr)-Sulfate
- metall. Eisen

Geogene Phasen:

x faktisch nicht oder nur schwer verwitterbar:

- Rutil
- Chromit
- Titanit
- Monazit
- Xenotim
- Ilmenit
- Magnetit

x relativ leicht verwitterbar:

Sulfide

Ni-Magnetkies

Silikate wie Chlorit, Amphibole

Bei den leichter verwitterbaren Phasen - sowohl geogen, wie technogen - werden somit hauptsächlich an Schwermetallelementen Ni und Cr in verfügbarer Form freigesetzt; daneben etwas untergeordnet V, Cu und Zn!

Die mineralogische Analytik belegte die kausal abgesicherte Aussage, daß z.B. in ein und demselben Bodenprobenprofil für ähnliche Elementkombinationen in Auflage und Oberboden technogene, im Unterboden jedoch geogene Quellen nachgewiesen werden können. Rückkoppelnd stellte sich nun die Frage, ob diese Tatsache sich nicht auch flächenhaft mit Hilfe geostatistischer Methoden nachvollziehen läßt.

Dafür wurde an den Subsets Oberböden/Ackerstandorte und Oberböden/Waldstandorte für die Elementgruppe Chrom, Molybdän, Niob, Nickel, Titan, Vanadium, Wolfram und Yttrium eine Hauptkomponentenanalyse gerechnet. Die erkannte Indikatorfunktion des Titan für überwiegend geogene Quellen und des Molybdän für überwiegend technogene Quellen sollte dabei als Interpretationshilfe dienen.

Die getrennte Verrechnung einerseits für Oberböden (Ap-Horizonte) auf Ackerstandorten und für Oberböden (Ah-Horizonte) auf Waldstandorten zeigt das doch überraschende Ergebnis, daß eine klare Trennung von geogenen Verteilungen (Cr-, Nb-, Ni-, Ti-, V-Vormacht) und technogenen Verteilungen (Mo-, Ni-, W-Vormacht) auch mittels Geostatistik möglich wird und dies auch unabhängig von Nutzung und Bodentyp!

Damit kann ein Beleg vorgelegt werden, daß die methodische Kombination gezielter Mineralphasenuntersuchungen (Spurenelementgehalte) und multivariater Statistik ein brauchbares Instrument zum Nachweis technogener Staubimmissionen darstellt!

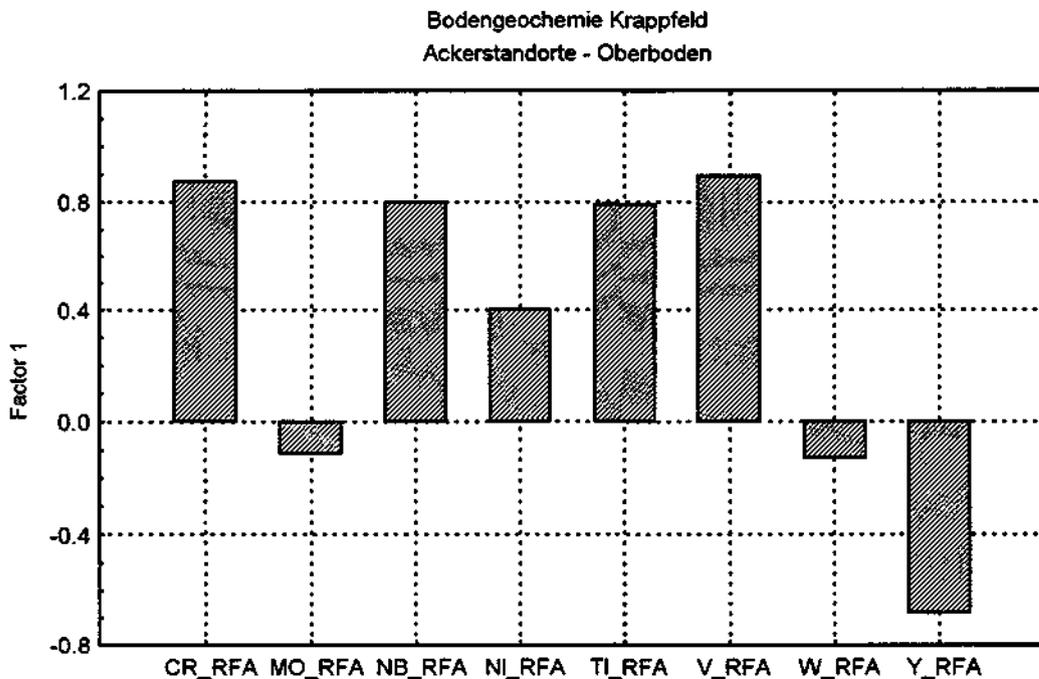


Abb. 3: *Hauptkomponentenanalyse, Faktor 1
Oberböden Ackerstandorte, Krappfeld*

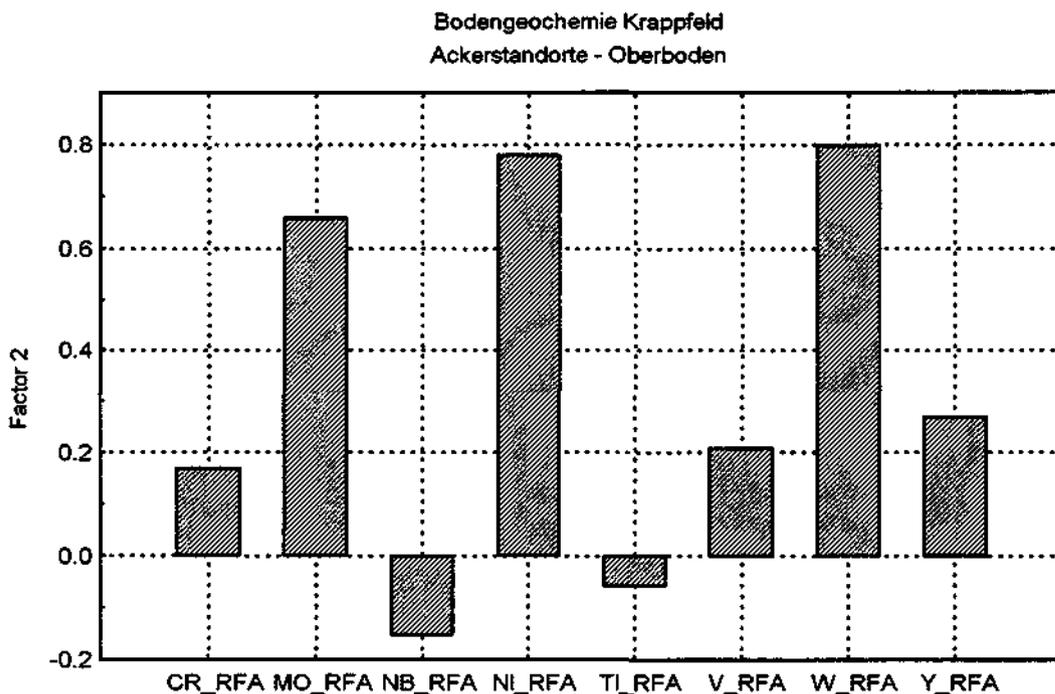


Abb. 4: *Hauptkomponentenanalyse, Faktor 2
Oberböden Ackerstandorte, Krappfeld*

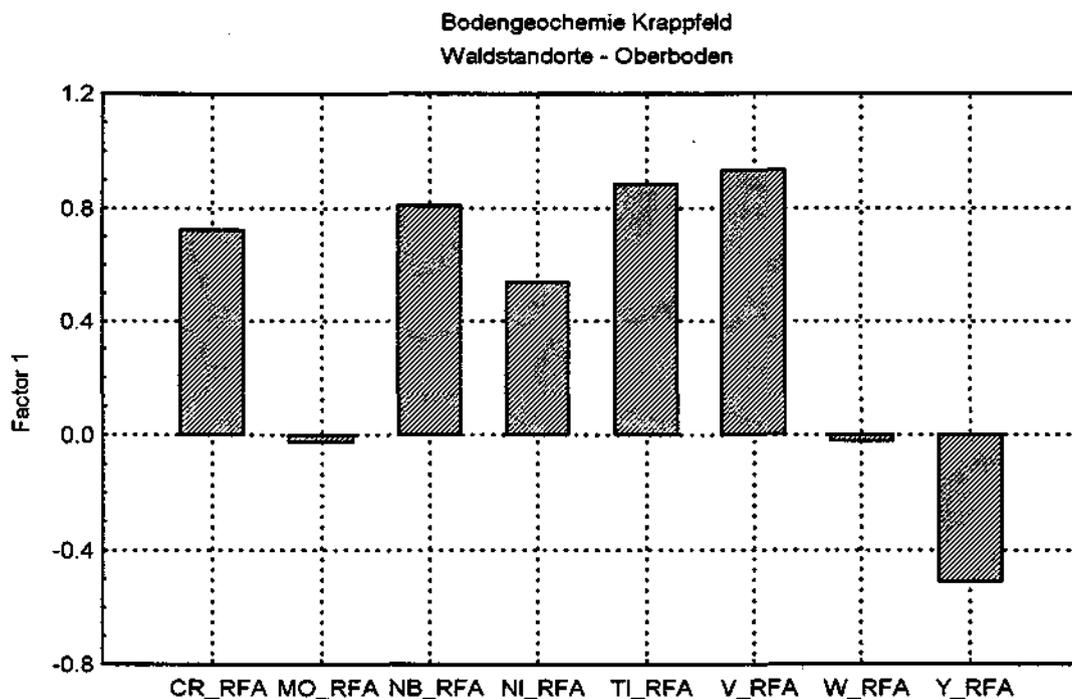


Abb. 5: Hauptkomponentenanalyse, Faktor 1
Oberböden Waldstandorte, Krappfeld

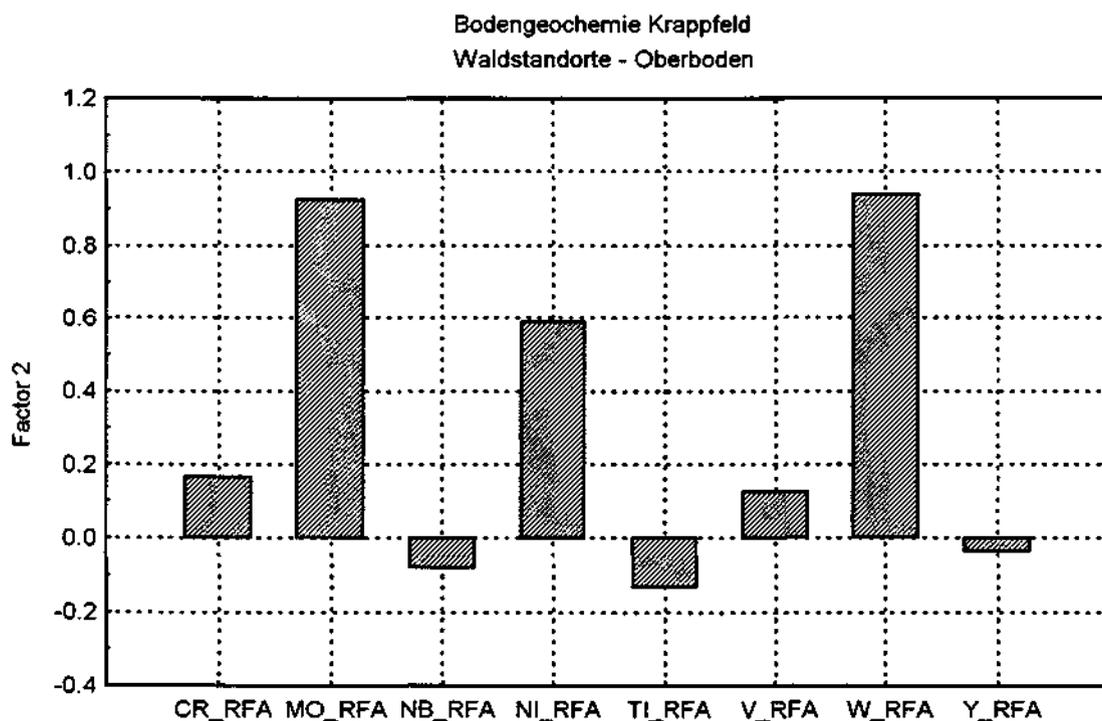


Abb. 6: Hauptkomponentenanalyse, Faktor 2
Oberböden Waldstandorte, Krappfeld

4.2 Voitsberg-Köflacher Becken - Beispiel für Differenzierung von Emittenten

Innerhalb des Forschungsprojektes „Bodengeochemie zur Bodenzustandserhebung - Umweltbestandsaufnahme im Gebiet des Voitsberger-Köflacher Beckens“, das durch ein breites multidisziplinäres Team der Forschungsgesellschaft Joanneum, dem Institut für Bodenforschung/BOKU, der Firma Intercom und selbständigen Büros ausgeführt wurde, sollten auch im Sinne einer begleitenden Grundlagenforschung methodische Weiterentwicklungen für regionale Bodenzustandsanalysen integriert werden. Im Vordergrund standen dabei einerseits die Verbindungslinien Geochemie - Pedologie und andererseits die konkrete Eingrenzung und Charakterisierung von Spurenelementquellen (insbesondere Schwermetallen) und die damit verbundene Ansprache von Emittenten. Bei dem dabei vorgesehenen konsequenten Einsatz mineralogisch-phasenanalytischer Arbeitsschritte sollte insbesondere darauf geachtet werden, das Handling auf allen Ebenen der Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik für eine praxisgerechte und ökonomische Verwendung bei systematischen Immissionserhebungen weiterzuentwickeln (NEINAVAIE, H. 1994).

Mineralogische Untersuchungen mit hohem Tiefgang und an komplexen Materialien sind prinzipiell sehr zeit- und kostenaufwendig.

Es war daher bereits in der Planung notwendig, mit Hilfe mehrerer Kriterien sowohl Anzahl, wie Lage der Probenahmepunkte zur Gewinnung des spezifischen Probenmaterials (größere Menge als für bodengeochemische Untersuchungen notwendig) zu optimieren; diese waren:

- Lage bekannter geogener Schwermetallquellen
(Mineralisationen, Bergbaue)
- Flächenveränderungen/-störungen durch den ausgedehnten Kohlebergbau
(Tagbaue/z.T. verstürzt, Halden, u.a.)
- Lage von rezenten und historischen Großemittenten
- Verlagerungsvorgänge der Emissionen (Windrichtung, u.a.)

Insbesondere die Recherche bezüglich möglicher Hauptemittenten erlaube

- die zahlreichen historischen Eisenhüttenbetriebe (Mitte 19. Jhdt. bis Beginn 20. Jhdt.)
- die kalorischen Kraftwerke und
- die aktuellen Glasindustriebetriebe

als Hauptuntersuchungsziele einzugrenzen.

Weitere Probepunkt-Auswahlargumente lieferten die ersten Ergebnisse der bodengeochemischen Analytik an Auflage- und Oberbodenhorizonten, die folgendermaßen zusammengefaßt werden können:

- sehr hohe positive Korrelationen zwischen P und Cr, Ni, C, (Pb,Zn) sowie Cl und Cu,Pb
- P-, Cl-, Schwermetall-Gehalte im pH-Bereich < 4,2 deutlich höher, als bei höherem pH.

In erster Annäherung lassen sich diese Phänomene nicht direkt mit geo-/pedochemischen Vorgängen erklären, weshalb hier der Verdacht auf Zusammenhänge mit Immissionen nahe lag.

Die intensive Bearbeitung von Mineralphasen in Böden (an den ausgewählten 29 Standorten) - insbesondere Auflagehorizonte, aber auch z.T. oberer Mineralboden und Verwitterungszone - sowie verschiedene Aschen (GKB-Kohlekraftwerk, Deponiematerialien), erlaubte Aussagen und Interpretation auf verschiedenen Ebenen:

- Mineralphasen als Schwermetallquellen geogen/technogen
- Zuordnung von Schwermetallverteilungen im Naturraum zu deren jeweiligen Quellen
- konkrete Hinweise auf Emissions-Immissionspfade
- Abschätzung der aktuellen Mobilität und/oder Mobilisierbarkeit bestimmter Spurenelemente

Über die gezielten mineralogisch-phasenanalytischen Spurenelementuntersuchungen hinaus werden zur Bewertung derer Ergebnisse zusätzliche indikative Parameter herangezogen:

- geogen - Nähe zu und Bindung an Mineralisationen
- Bindung an gesteinsbildende Minerale
- litho-, pedo- und hydrochemisches Milieu

- technogen - die Phase an sich als Indikator eines bestimmten technischen Prozesses**
- Form, Korngröße, Kristallisationsgrad**
 - Gesamtchemismus der Mineralphase**
 - Spurenchemismus der Mineralphase**
 - Verteilung innerhalb von Bodenprofilen**
 - Verteilung im Naturraum, z.B. in Abhängigkeit von Hauptwindrichtungen und Morphologie**
 - Gruppierung bestimmter Mineralphasen mit \pm bestimmten Spurenelementgehalten**

Basis der weiteren Auswertungsschritte war die Einordnung aller erfaßten Mineralphasen als Spurenelementquellen einschließlich ihrer beobachteten Häufigkeit.

Die beobachtete Häufigkeit wurde dabei in der folgenden Tabelle kodiert mit

- | | |
|----------|-------------------|
| 1 | vereinzelt |
| 2 | wenig |
| 3 | mittel |
| 4 | viel. |

Tabelle 2: Mineralphasen als Spurenelementquellen, sowie deren beobachtete Häufigkeit in Böden des Voitsberger-Köflacher Beckens

<i>Elementquelle</i>	<i>Mineralphase</i>	<i>beobachtete Häufigkeit</i>
Arsen	Arsenkies	1
Barium	Glasphase	1
Chlor	Glasphase	1
	Apatit	1
Chrom	Calciumferrit (helle und dunkle Phase)	4
	RO-Phase (z.T.mit R_2O_3)	3
	Wüstit, Manganwüstit	1
	Fe(Cr)-Oxyd	1
	Chrommagnetit	3
	Chromspinell	2
	Magnesioferrit	2
	Chromit	2
	Ca(Fe,Cr) $_2$ O $_4$ -Mischkristalle	1
	Ferrochrom	3
	Ferronickellegierung	3
	Ferrosilizium	2
	Ti-Ferrosilizium	1
	Fe-Hydroxyde	1
	Spinell	1
	Ferromanganlegierung	1
	Chromchlorit	2
	Amphibole	2
	Chlorit	2
	Titanhämatit	1
Ca-Al-Ferrit	2	
Epidotminerale	2	
Kobalt	Pyrit	1
Kupfer	"Keramik"	1
	Magnetkies	2
	Magnesiowüstit	1
	Messing	3
	Zink-Ferronickel	1
	Zink-Kupfemickellegierung	1
	Glasphase	1
	Ferrosilizium	1
	Ti-Ferrosilizium	1
	Kupferkies	2
	Kupferglanz	1

Mangan	Mn-Wüstit	4
	Wüstit	4
	Ilmenit	3
	Calciumferrit	3
	Glasphase	3
	Fe(Cr)-Oxyd	1
	metallisches Eisen	2
	Hämatit-Ilmenit	2
	Olivinmischkristalle	3
	Fayalit	1
	Chrommagnetit	1
	Ca(Fe,Cr) ₂ O ₄ -Misch- kristalle	1
	(Mg,Ca,Mn,Fe)O-Misch- phasen	3
	Spinell	1
	Melilith	1
	Granat	3
	Magnetit	1
	Fe(Mn)-Hydroxyde	3
	Magnesioferrit	1
	Ferromangan- legierungen	1
	Ferrosilizium	1
Ti-Ferrosilizium	1	
Karbonate	1	
Nickel	Chrommagnetit	2
	Fe(Cr)-Oxyd	1
	Magnesiowüstit, Man- ganwüstit	1
	Calciumdiferrit, Cal- ciumferrit	1
	Messing	3
	Ferrochrom	1
	Ferronickel	2
	Zink-Ferronickel	1
	Glasphase	2
	metallisches Eisen	1
	Zink-Kupfernickel- legierungen	1
	Magnetkies	3
	Apatit	1
	Fe-Hydroxydphasen	1
	Spinell	1
	Magnesioferrit	1
	Chromit	2
	Chromspinell	2
	Chromchlorit	2
	Ferrochromlegierungen	2
	Ferrosilizium	2
	Ti-Ferrosilizium	1
	Chlorit	3
	Amphibole	1
Kupferkies	1	

Phosphor	Apatit	4
	Calciumferrit	3
	Fe-Hydroxydphasen	3
	Fe(Mn)-Hydroxydphasen	3
	Glasphase	2
	Monazit	2
	Xenotim	2
	Magnesiowüstit	1
	Ca(Fe,Cr) ₂ O ₄ -Mischkristalle	1
	Manganwüstit	2
	Olivinmischkristalle	2
	Ca-Silikate	2
	Ca-Al-Ferrit	1
	metallisches Eisen	1
	RO-Phase	1
Schwefel	Calciumferrit	2
	Fe(Mn)-Hydroxyde	3
	Magnetkies	3
	Keramik	1
	Glasphase	2
	Fe-Hydroxyde	4
	metallisches Eisen	1
Vanadium	Apatit	3
	Calciumferrit	4
	Ca(Fe,Cr) ₂ O ₄ -Mischkristalle	1
	Magnesiowüstit	1
	Magnetit	2
	Glasphase	1
	Ilmenit	3
	Fe-Hydroxyde	1
	Fe(Mn)-Hydroxyde	1
	Magnesioferrit	1
	Ferromangan	1
	Chromit	2
	Ferrosilizium	1
	Ca-Al-Ferrit	2
	Ti-Hämatit	2
Titanit	1	
RO-Phase	1	
Zink	Calciumferrit	1
	Messing	3
	Zink-Ferronickel	1
	Eisenhydroxyde	1
	Fe(Mn)-Hydroxyde	1
	Glasphase	2
	Chromit	1
	Chromspinell	1
	Magnetkies	3
	metallisches Zink	1
	2	

Als wichtigste technogene Phasen konnten bestimmt werden:

RO-Phasen (Wüstit) sind Fe-, Mg-, Ca-, Mn-(Mischkristall-)Hochtemperaturphasen; Abhängigkeit des Chemismus von jeweiligen, meist rasch wechselnden Redox-Bedingungen; Einbau von Chrom, Nickel und Mangan, untergeordnet Phosphor.

RO-Phasen und Wüstit sind Produkte faktisch aller Hochtemperaturprozesse bei Fe-Angebot.

Hinweis auf unterschiedliche Prozesse bei Eisenverhüttung und -verarbeitung sind unterschiedliche Spurengehalte! Z.B. hohe P-Gehalte bei Prozessen mit P-haltigen Roheisen (Thomas-Verfahren), oder Cr-, Ni-, V-, Mn-, Ti-Gehalte je nach Edel-Stahl-Produktionsprozess.

Calciumferritphasen sind ebenfalls Hochtemperaturphasen mit schwankenden Gehalten von Al in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial. In Emissionen aus Kohlekraftwerken überwiegen Ca-Al-Ferrite. Sie sind Träger von Vanadium, Chrom, Nickel, Phosphor und Mangan, z.T. auch Schwefel, untergeordnet Zink.

Calciumferrite bilden sich überwiegend ab 300°C bzw. 550°C bei entsprechendem Angebot von Ca und Fe.

Typisch für Hochofenprozesse sind Spurengehalte von Cr, Ni, V und P (Zuschlagstoffe), für Prozesse der Glasindustrie Spurengehalte von P und V (Färbe-, Trübungsmittel). In Kohlekraftwerken entstehen häufig Ca-Al-Ferrite (Nebengesteinsanteile), die auch kaum Spurenelemente aufweisen.

Technogene Apatitphasen sind faktisch immer mit Calciumferrit vergesellschaftet (Verwachsungen) und sind Vanadiumträger.

Technogene Apatite sind Produkte aller Hochtemperaturprozesse, bei denen P-haltige Zuschlagstoffe und Rohstoffe verwendet werden. Freier Apatit bildet sich dabei nur bei entsprechend hohem P-Angebot (Stahlerzeugung, Glasindustrie), selten jedoch in Kraftwerken, wo P hauptsächlich in Ca-Silikaten eingebaut wird. Als häufige Spurenelemente treten dabei Vanadium und Eisen auf.

Geogene Apatite sind faktisch Schwermetall-frei.

Technogene Silikatphasen sind in zwei Formen nachzuweisen

kristallin als Olivin- und Melilith-Mischkristalle mit Mangan und Phosphor im Gitter eingebaut und

amorph (Glasphasen), häufig Träger von Mangan, Phosphor, Barium, Chlor, Schwefel, aber nur geringen Spuren von Schwermetallen (nur untergeordnet Kupfer, Nickel, Zink, Titan).

Amorphe Silikatphasen mit Spurengehalten von S, P und Cl lassen sich direkt den Emissionen des Kohlekraftwerkes zuordnen.

Technogene Spinelle konnten an zahlreichen Probepunkten bestimmt werden, meist mit großer Häufigkeit, nur in wenigen Fällen Chrom-/Nickel-Träger.

Metallisches Eisen ist faktisch in den meisten Proben häufig und bildet eine Quelle von Mangan und Nickel.

Edelstahllegierungen sind lokal angereichert zu beobachten - Chrom-, Nickel-, Mangan-, Zink-Träger.

Obwohl nur relativ wenige Punkte intensiv nach ihren Mineralphasenverteilungen untersucht wurden, ist es doch möglich, anhand der Gegenüberstellung der räumlichen Verbreitung bestimmter indikativer Phasen, einige klare interpretative Aussagen zu formulieren:

1. Trotz ihrer zum Teil zeitlich bereits weit zurückliegenden Produktionsperioden sind die Emissionen der eisen- und stahlerzeugenden Industrie sowohl nach ihrer Lagebeziehung, als auch nach unterschiedlichen Prozessen nachzuweisen.
2. Punkte (Bereiche) mit überwiegender, aktueller Beeinflussung durch das Kohlekraftwerk: (Glasphasen +S, P, Cl; Calciumferrite ohne Schwermetallspuren). Die Glasphasen besitzen einerseits durchwegs und einheitlich sehr kleine Korngrößen mit globularen Formen, andererseits sind an manchen Punkten auch Partikel größerer Korndurchmesser mit unregelmäßigen Formen mit teilverbrannten Kohlepartikeln zu finden (möglicherweise Hinweise auf Emissionen vor Neubau Kohlekraftwerk mit Filter).

3. Bei Miteinbeziehung der Nutzungsformen in die Interpretation der Punktaussagen trennen sich sehr deutlich Wald- und Grünland-Punkte z.T. nach Mineralphasenverteilungen und Menge. Ebenso spiegeln sich die Hauptwindrichtungen und eventuell auch Nebelobergrenzen wieder.
4. Die Verteilung der technogenen Apatite ist spezifisch zu diskutieren. Es fällt auf, daß die Punkte, an denen technogene Apatite faktisch nicht nachzuweisen sind, durchwegs Wald als Nutzungsform besitzen.

Die Argumentation, daß eben gerade an diesen Punkten die entsprechenden Phasen nicht abgelagert wurden, erscheint bei der Funktion der Staubausfilterung durch den Wald nicht logisch. Schon eher wird die Annahme zu bestätigen sein, daß infolge der hohen Säuredynamik in Waldböden und der Verwitterungsmobilität der Apatitphasen diese sehr rasch zerstört werden und deshalb nicht nachweisbar waren. Einzelne Schliffbeobachtungen (Apatitreste, wahrscheinlich Umrisse fehlender Phasen) unterstützen diese Denklinie.

Weiters stellt sich die Frage nach der Emissionsquelle. Wie schon oben mehrfach hingewiesen, kommen Emissionen von Apatit mit Spurenelementen aus dem Kohlekraftwerk aus technologischen Gründen und den Ausgangsmaterialien nicht in Frage. Eisen- und stahlerzeugende Prozesse mit hohem Einsatz P-haltiger Zuschlagstoffe dürften nach der Datenerhebung im Arbeitsgebiet eher untergeordnet gewesen sein. Das Maximum dieser Produktion liegt außerdem bereits fast über 100 Jahre zurück. Bei der Verwitterungsanfälligkeit der Apatitphasen würden nur schwerlich ähnlich deutliche Phasenbilder nachzuweisen sein.

Bei Vergleichsuntersuchungen im Nahbereich eines glasverarbeitenden Betriebes in Tirol konnten nun zu den im Arbeitsgebiet gefundenen Verwachsungen Calciumferrite/Apatite einschließlich typischer Spurenelementgehalte (Vanadium) vollkommen vergleichbarer Form und Zusammensetzung nachgewiesen werden.

Der Schluß liegt somit im Bereich der Wahrscheinlichkeit, daß die weitverstreut gefundenen technogenen Apatite eher aus den Emissionen der noch produzierenden Glasindustrie stammen.

4.3 Leoben - Donawitz Beispiel für Bewertungszugang eines Hauptmittelten über verschiedene Probemedien

Schon während der laufenden Enddokumentation des „Geochemischen Atlas des Republik Österreich“ wurde geprüft, ob die Analysendaten neben dem, zum Start des Projektes angepeilten Hauptziel der Erzprospektion im Rahmen der systematischen Rohstofforschung, nicht auch für umweltrelevante Problemstellungen herangezogen werden könnten. Gerade in Gebieten, in denen sich Bergbau-, Hütten- und Industriebetriebe über Schwermetallemissionen manifestieren, sollte gerade die flächenintegrierende Aussagekraft bachsedimentgeochemischer Daten für die Bewertung der Immissionen anwendbar sein. Als starke Einschränkung dieser Anwendungsmöglichkeiten stellte sich jedoch das Fehlen von Beobachtungspunkten im „Geochemischen Atlas“ an den größeren Flüssen heraus. Es war somit zu prüfen, ob aus dem Flächenbeitrag der jeweiligen Kleineinzugsgebiete (Probepunkte an Nebenbächen und Kleingerinnen) in Summe auf geogene und/oder technogene Belastungssituationen geschlossen werden könnte.

Aus diesem Grund wurden durch das ausführende Team der „Systematischen geochemischen Aufnahme des Bundesgebietes“ zahlreiche Kontroll- und Vergleichsprobenahmen in den verschiedensten geologischen Einheiten des Bundesgebietes angesetzt.

Als Beispiel wird dazu eine rasterförmige Bodenbeprobung (ca. 750 x 750 m, 301 Probepunkte) im Raum Trofaiach - Leoben - St. Michael (ausgeführt durch VA-Geotechnik/Eisenerz) herausgegriffen.

Unbestreitbar stellten die Staubemissionen des Betriebskomplexes Donawitz im Raum Leoben ein Problem dar. Inwieweit sich damit auch Schwermetallverteilungen in den Böden im näheren und weiteren Umkreis des Stahlwerkes in Verbindung bringen lassen, sollte mit Hilfe dieser Bodenbeprobung versucht werden zu klären.

Die Verteilungen von bestimmten Einzelementen ließen dabei keine eindeutige Interpretation zu, da geogene Verteilungen aufgrund der geologischen Situation technogene durchaus überlagern können.

Eine Hauptkomponentenanalyse der Multielementanalytik läßt demgegenüber ein äußerst plausibles Muster erkennen:

Faktor 1 (Abb. 7, 10)

Probepunkte mit starker technogener Beeinflussung; sie gruppieren sich stark entlang der Furche Leoben - Donawitz - Trofaiach und der davon ausgehenden Seitentäler.

Faktor 2 (Abb. 8, 11)

Trennt Probepunkte nach deren geogener Hauptmatrix - silikatisch (positiv) und karbonatisch (negativ).

Faktor 3 (Abb. 9, 12)

Hebt Probepunkte hervor, die in Zusammenhang mit basischen bis ultrabasischen Untergrundgesteinen stehen (!Alluvionen entlang des rechten Murufers unterhalb Serpentin von Kraubath).

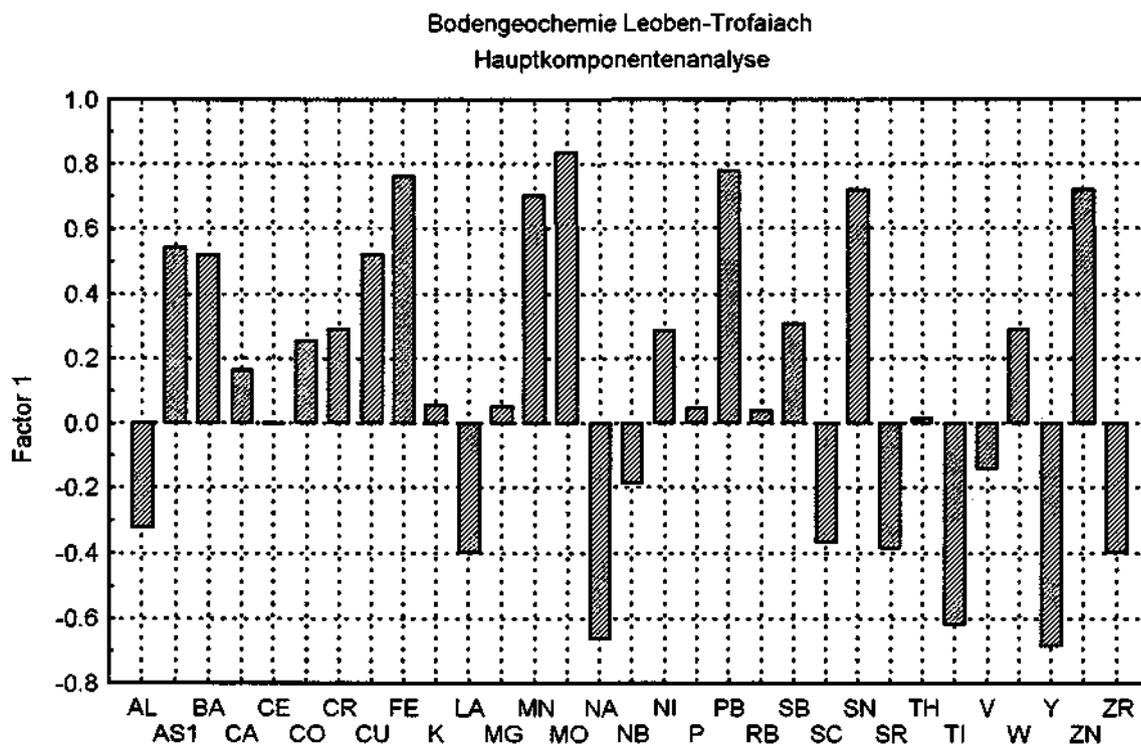


Abb. 7: Hauptkomponentenanalyse, Faktor 1
Oberböden/Bodenprobenraster Leoben-Trofaiach-St. Michael

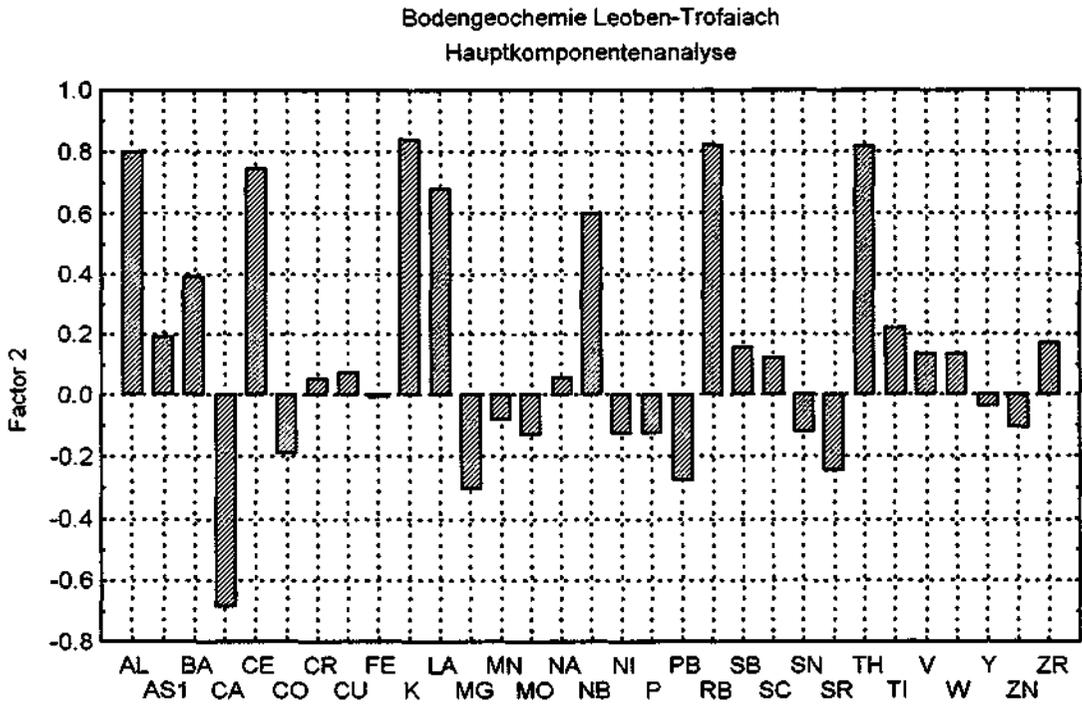


Abb. 8: Hauptkomponentenanalyse, Faktor 2
Oberböden/Bodenprobenraster Leoben-Trofaiach-St. Michael

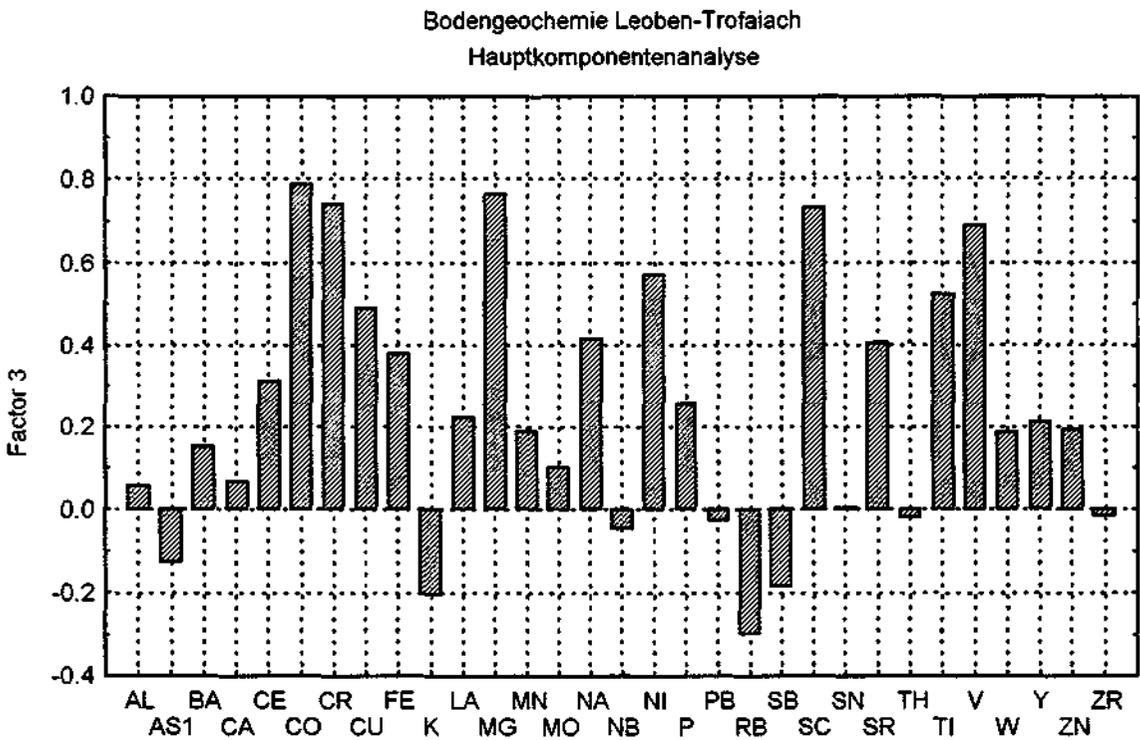


Abb. 9: Hauptkomponentenanalyse, Faktor 3
Oberböden/Bodenprobenraster Leoben-Trofaiach-St. Michael

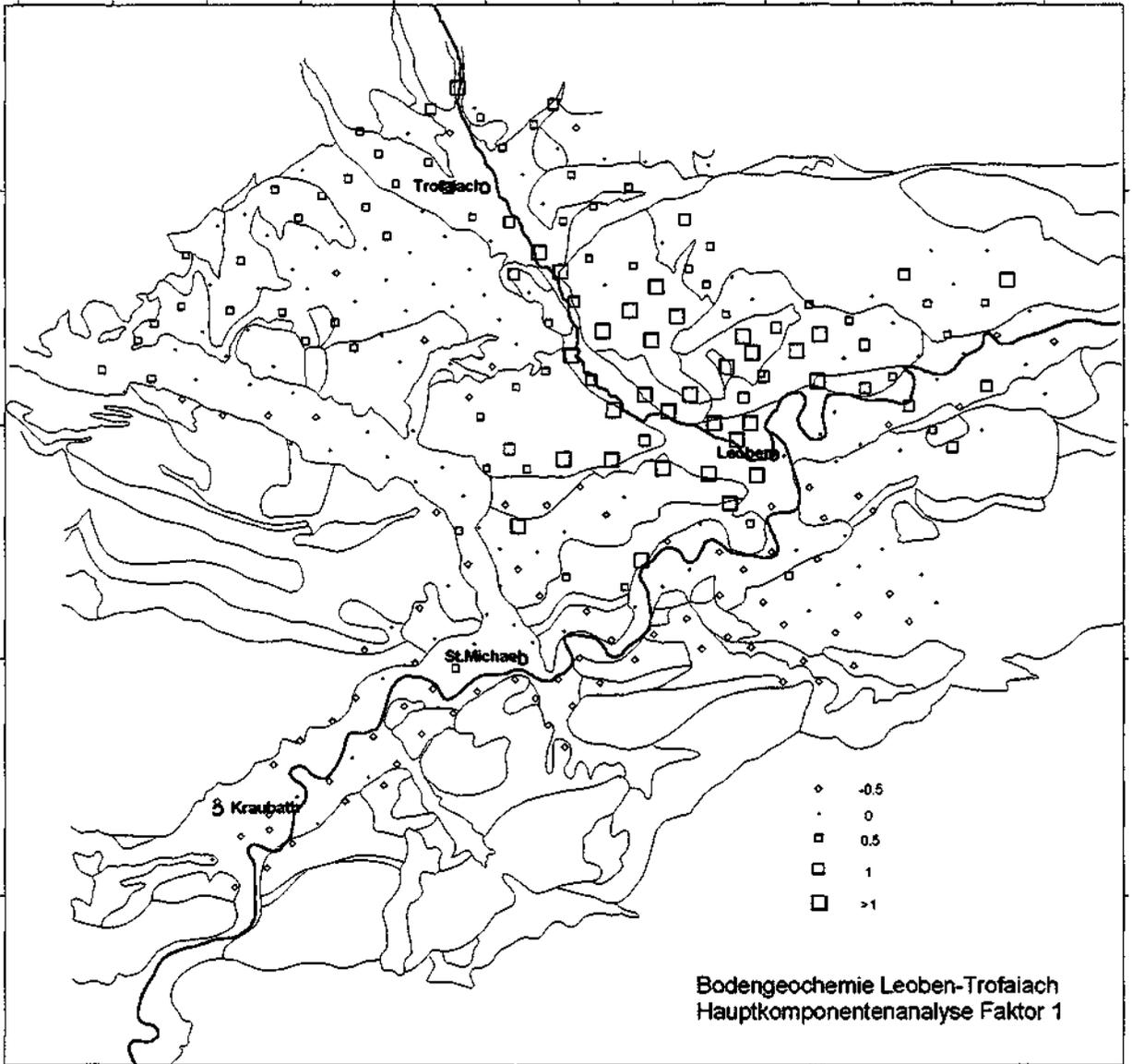
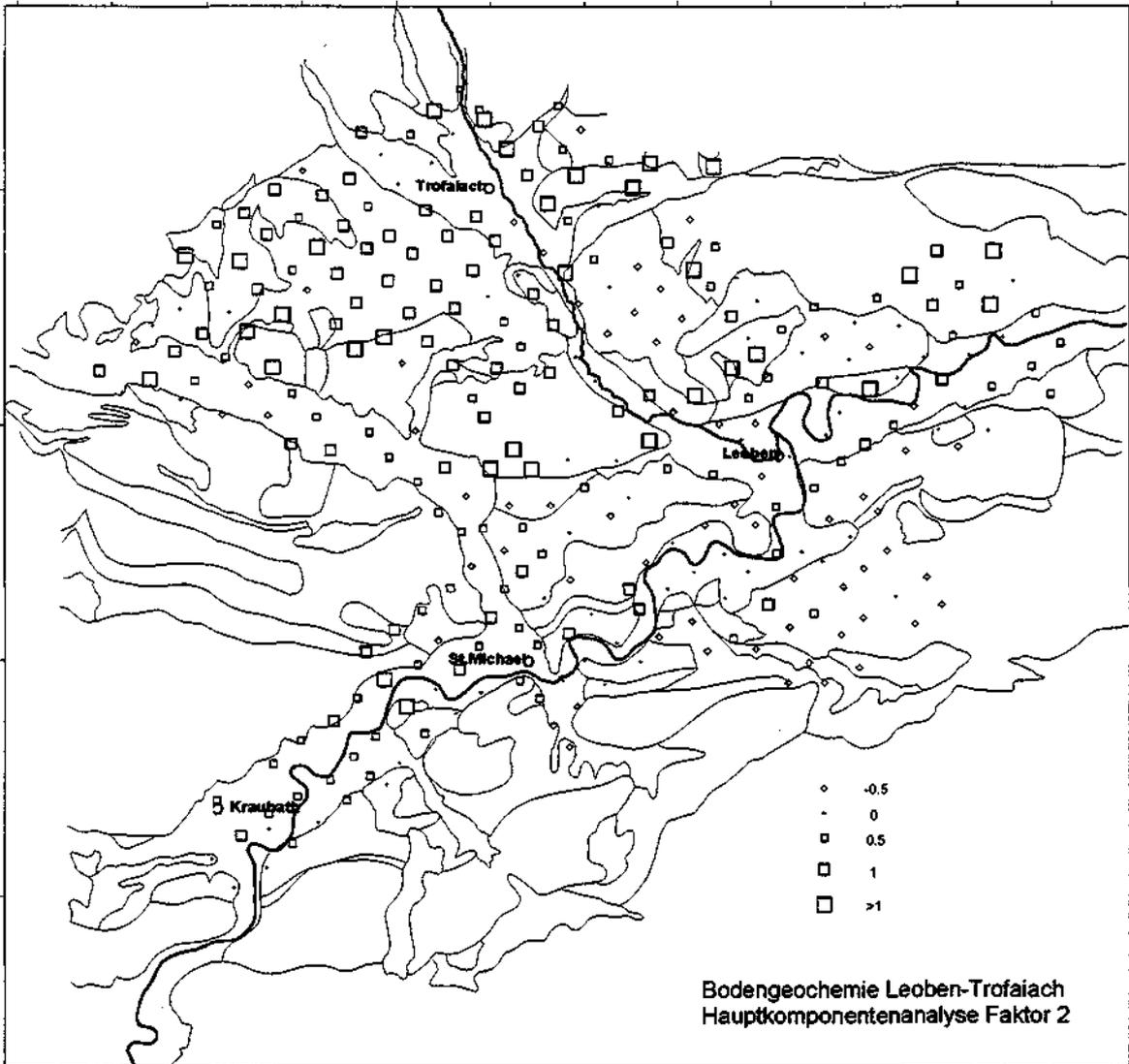


Abb. 10: Bodenprobenraster Leoben-Trofaiach-St. Michael
Zuordnung Faktor 1



**Abb. 11: Bodenprobenraster Leoben-Trofaiach-St. Michael
Zuordnung Faktor 2**

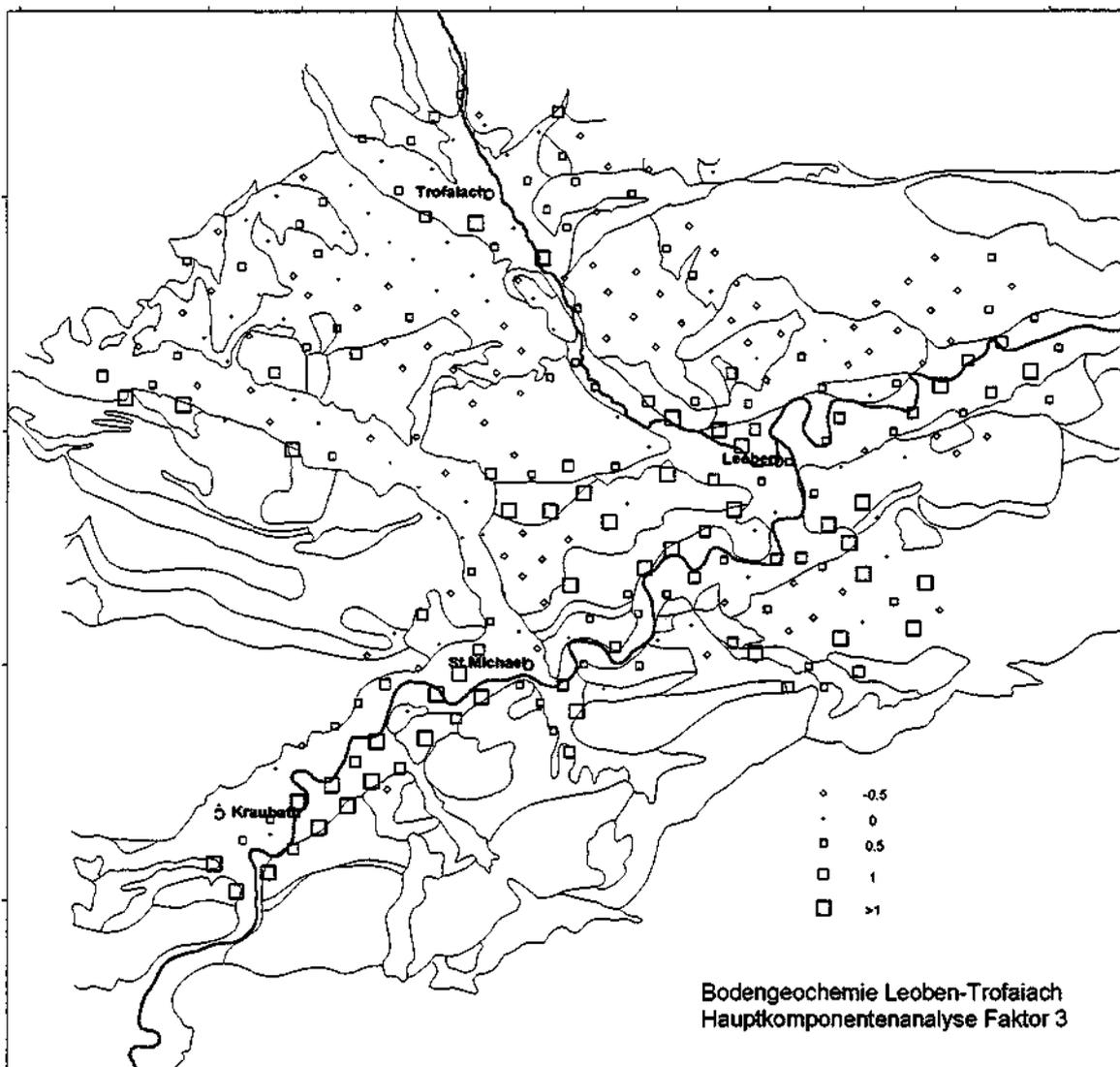


Abb. 12: *Bodenprobenraster Leoben-Trofaiach-St. Michael
Zuordnung Faktor 3*

Die Darstellung der Hauptfaktoren in ihrer Zuordnung zu den Probepunkten erfolgt auf einer generalisierten geologischen Grundlage. Mit deren Hilfe und zusätzlichen Probepunktinformationen (Bodentyp, Nutzungsart) lassen sich weitere Gruppierungen und Interpretationsschritte an diesem Material vornehmen (auch in Zusammenschau mit bachsedimentgeochemischen Daten). Im Rahmen dieser Publikation kann dies nicht entsprechend ausgeführt werden.

Anhand der obigen Auswertung kann jedoch bereits der Schluß gezogen werden, daß sich die Methodenkombination Bodengeochemie (Bachsedimentgeochemie)/Geostatistik auch dazu eignet, in Industrieballungsgebieten Muster geogener und technogener Schwermetall(-vor)-Belastungen in der Landschaft zu erkennen.

Bachsediment- und bodengeochemische Analysen können dabei als Indikatoren für Summen-einträge verwendet werden. Um in Gegenüberstellung dazu auch kurzfristige, aktuelle Spitzen- oder Hintergrundimmissionen erfassen zu können, wurde in den letzten Jahren zu Vergleichszwecken bereits mehrmals auf Schneeproben zurückgegriffen.

Dazu wurde jeweils eine Zeitspanne von ca. 1 - 2 Wochen nach einem ausgiebigeren Schneefall abgewartet und dann eine Schneeprobe von einem Quadratmeter (2 cm Mächtigkeit) eingesammelt, die geschmolzene Probe filtriert und die rückbleibenden Staubpartikel dem üblichen Untersuchungsweg (Abb. 1) unterzogen.

Im Raum Leoben wurden dazu zwei Probepunkte ausgewählt -

- a) Vorplatz Krankenhaus Leoben
- b) Wiesenflächen zwischen Proleb und Niklasdorf

Deren Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

x In der Probe zwischen Industriegebiet und Zentrum Leoben (Krankenhausvorplatz) sind als häufig zu beobachten:

Graphit (0,015 - 0,6 mm)	
Koks (bis 0,14 mm)	
Sintererze, Sinterprodukte)
LD-Stäube)
Glasphase)
metall. Eisen) in Korngröße von
Magnetkies) 2 bis 180 µ
RO- und R ₂ O ₃ -Phasen)
(+ Cr, Ni, Zn, Mn))
(Fe,Mn)-Oxide)

Glasphasen besitzen als Spurenelemente

bis 1,3 % Zn
bis 0,27 % Pb
bis 0,2 % V
bis 0,25 % Cu

Fe,Mn-Oxide besitzen als Spurenelemente

bis 0,14 % Pb
bis 0,4 % Ni
bis 0,1 % Zn
bis 0,3 % Cr

An diesem Probestandort finden sich somit Staubanteile aus allen Produktionsteilen eines Eisenhüttenbetriebes. Zur Absicherung dieser Aussage konnten auch bereits aus dem Jahre 1987/88 vorliegende mineralogische Untersuchungen an Staubpartikeln aus Auflagehorizonten von Böden im Umkreis von Donawitz herangezogen werden.

- x In dem weiterentfernten Probestandort zwischen Proleb und Niklasdorf findet sich prinzipiell die Palette an Staubphasen, die mit stahlerzeugender Industrie in Verbindung gebracht werden können, wieder -

globulare und tafelige

Glasphasen (+ Cr, V, Mn)

Fe/Mn-Oxide (+ Cr)

Calciumferrit

Sintererze

Graphit,

jedoch mit durchwegs geringeren Korngrößen, als im Nahbereich des Industriestandortes zwischen 2 und 30 μ .

Vereinzelte Graphitpartikel können bis 50 μ und vereinzelte Fe-Oxide bis 70 μ aufweisen.

Zusätzlich zu diesen Phasen sind an diesem Standort jedoch auch Staubpartikeln aus einer anderen Emissionsquelle zu beobachten

- häufig Zellulose und Holz, sowie „mineroorganische“ globulare und blättchenförmige Materialien mit Korngrößen zwischen 0,04 und 0,5 mm und Schwermetallführung (Pb, Cr, Ti, Zn).

Letztere Schmelzproben deuten auf Verbrennungsprozesse niedrigerer Temperatur; die Palette der angetroffenen Phasen verweist auf die Zellulose-/Papier-Industrie im Nahbereich.

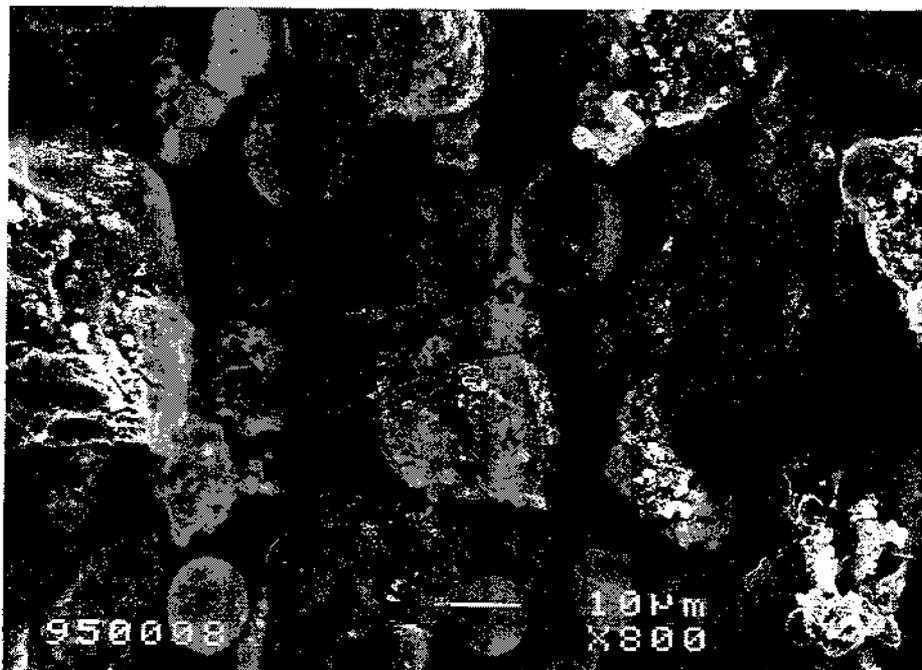


Abb. 13: Schneeprobe NW Niklasdorf (Jänner 1995), Staubpartikel/Übersichtsaufnahme

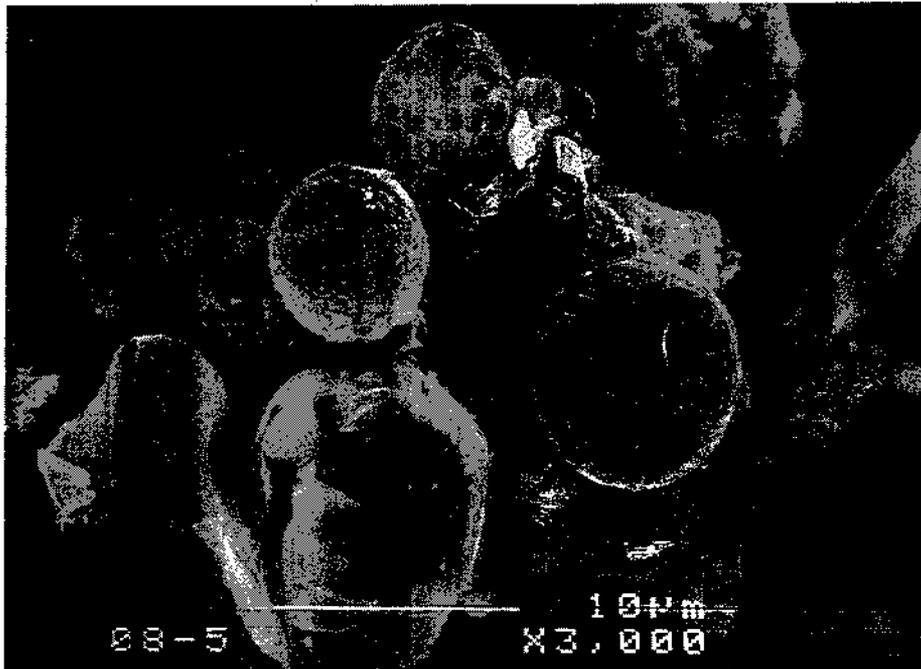


Abb. 14: *Schneeprobe NW Niklasdorf (Jänner 1995),
Bild/oben - globulares Kornaggregat aus Ca-Ferrit-
Phasen
Bildmitte/links - globulares Kornaggregat aus Magnetiten
Bildmitte/rechts - Wüstitkorn
Bild/unten - Verwachsung aus Glasphase mit Magnetit-
kornaggregaten*

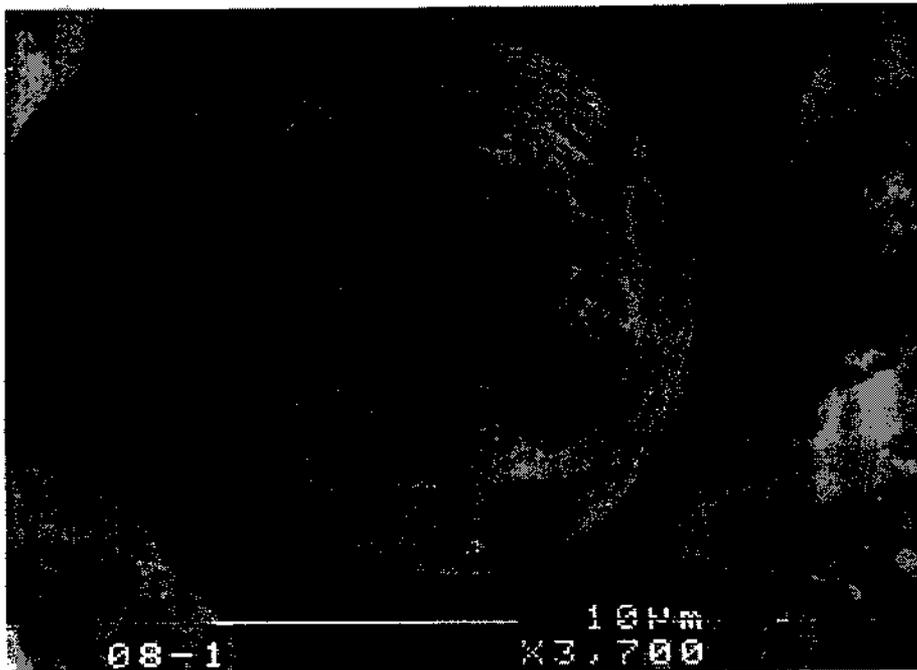


Abb. 15: *Schneeprobe NW Niklasdorf (Jänner 1995)
Globulare Kornaggregate aus Magnetiten*

Operator : Rossmann

Client : none

Job : Institut für Gesteinshüttenkunde / Montanuniversität LEOBEN

Spectrum 391 Bild 4 (Thursday, 23. March 1995 10:04)

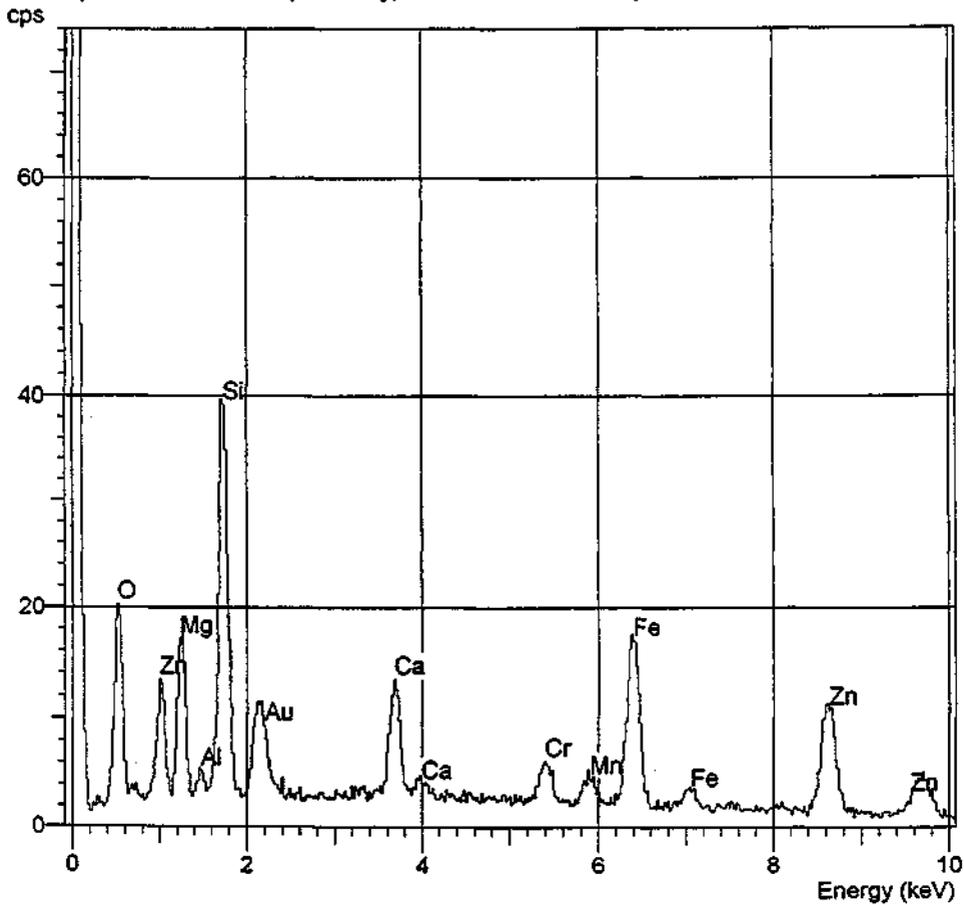


Abb. 16: Schneeprobe NW Niklasdorf (Jänner 1995)
Staubpartikeln, Elementspektrum/Übersichtsaufnahme

Element	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Stoich- ometry
C -K	---	84.06	73.82 D	---	148.856
O -K	4.603	13.55	15.85	+/- 0.68	24.000
Al-K	1.362	0.07	0.14	+/- 0.02	0.124
Si-K	1.230	0.14	0.28	+/- 0.04	0.245
Pb-M	1.448	0.13	2.01	+/- 0.35	0.235
Ti-K	1.266	0.73	2.54	+/- 0.07	1.285
Cr-K	1.268	0.16	0.62	+/- 0.07	0.289
Fe-K	1.317	1.11	4.53	+/- 0.15	1.966
Ni-K	1.336	0.00	0.00	+/- 0.00	0.000
Zn-K	1.397	0.04	0.20	+/- 0.17	0.074
Total		100.00	100.00		

Stoichiometry results are based upon 24 Oxygen atoms
Table Symbols: D -- Wt.% calculated by Difference

Abb. 17: Schneeprobe NW Niklasdorf (Jänner 1995)
Chemismus einer „mineroorganischen“ Staubphase
(schwermetallführender Kunststoff?)

Im Raum Leoben/Donawitz kann methodisch eine weitere Verknüpfung versucht werden über Flußsedimentuntersuchungen am Vordernbergerbach. Dazu wurden mineralogische Analysen im Zuge der Wassergütererhebung/Sedimente (im Auftrag Leobener Umwelttechnik) ausgeführt. Neben zwei Probepunkten knapp oberhalb und unterhalb des Werkgebietes Donawitz wurde aus Eigeninteresse ein weiterer Probepunkt im Bereich Friedauwerk/Vordernberg in die Studie einbezogen.

Dabei ergab sich, daß neben der gesamten bekannten Palette an Staubphasen des bestehenden Werkes Donawitz auch die Reste älterer Technologien der Hüttenbetriebe im Raum Trofaiach und Vordernberg im Schwermineralspektrum des Sedimentes des Vordernbergerbaches nachzuweisen waren. Daneben fanden sich aber auch häufig geogene Chrom- und Nickelträger (Chromite, Magnetite), die aus der Splittstreuung stammen, bei der verbreitet Material des Kraubather Serpentins verwendet wird.

Daraus mußte der Schluß gezogen werden, daß die chemische Analytik allein häufig nicht ausreicht, Schwermetallquellen in Böden und Sedimenten eindeutig zu indizieren und deren Zuordnung zu bestimmten Emissions-Immissions-Pfaden zu erlauben.

Das aufgebaute Anwenderwissen aus angewandter Geochemie und angewandter Mineralogie kann dazu entscheidende Hilfestellungen bieten.

4.4 Bleiburg - Völkermarkt Beispiel für grenzüberschreitende Immission

Ein interdisziplinäres (Geologen, Bodenkundler, Geochemiker) und international zusammengesetztes (Österreich, Slowenien, Kroatien) Team startete 1990 ein methodisches Forschungsprojekt zur „Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen“.

Das Arbeitsschwerpunktgebiet mit systematischen bodenchemischen Untersuchungen lag dabei im kärntnerisch-slowenischen Grenzraum bei Bleiburg (Petzengebiet). Neben den rein methodischen Ansätzen der Ergebnisauswertung ergab sich als Nebenprodukt die Erkenntnis, daß weitverbreitete Blei-Zink-Anomalien in Auflage- und Oberboden-Horizonten nur zum geringeren Teil auf die bekannten Vererzungen und Bergbaureviere rückgeführt werden

können, sondern flächenhafte Immissionen aus Pb-Zn-verarbeitenden Hüttenbetrieben vorliegen müssen (VRECA, P. 1995).

Vergleichende Mineralphasenanalysen an Hüttenschlacken einerseits und an Staubphasen aus Auflagehorizonten im Umgebungsbereich der Pb-Zn-Hütte Mezica, sowie des Stahlwerkes Ravne andererseits wiesen nach, daß diese Bleiimmission nicht nur aus der historischen oder bestehenden Blei-Zink-Verhüttung stammen, sondern daß auch die Emissionen aus dem Stahlwerk Ravne einen beträchtlichen Teil dazu beitragen (NEINAVAIE, H. 1992, NEINAVAIE, H. 1995, SOUVENT, P. 1994).

Von dieser Erfahrung auf slowenischer Seite ausgehend, wurde nun versucht, entsprechende Immissionspfade auch auf österreichischer Seite zu verfolgen.

Die Interpretation der Waldschadensbestandsaufnahme sowie überregionale Bilanzen des grenzüberschreitenden Schadstofftransportes (z.B. UMWELTBUNDESAMT 1994, AMT der KÄRNTNER LANDESREGIERUNG 1988) legen die Vermutung nahe, daß im Grenzgebiet Ostkärnten-Slowenien aktuell mit Fernimmissionen aus Slowenien in den Raum Bleiburg-Lavamünd gerechnet werden muß. Bisher gab es dazu nur entweder Analogieschlüsse oder Messungen der nassen Deposition.

Im Rahmen des oben erwähnten Forschungsprojektes wurde deshalb versucht, sich mit der Methodik der Mineralphasenanalytik an trocken deponierten Staubpartikeln in Auflage- und Oberbodenhorizonten diesem Problemkreis zu nähern.

Die Ergebnisse von Vorstudien auf der slowenischen Seite ließen dies durchaus als erfolgversprechend erscheinen.

Zwei Tiefenlinien zwischen Slowenien und Kärnten bieten sich für den Luftaustausch in diesem Raum an: Dravograd/Lavamünd und Mezica/Bleiburg.

Aus slowenischer Seite liegen dabei zwei Hauptemittenten im direkten Einzugsgebiet - das Stahlwerk Ravne und die Blei-Zink-Hütte Zerjav. Die 11 Probestellen auf österreichischer Seite wurden daher etwa im Halbkreis Bleiburg-Lavamünd so angeordnet, daß sie auf diese Linien ausgerichtet waren (nach ihrer Exposition), aber auch eventuelle Einflüsse eines österreichischen Hauptemittenten (Kohlekraftwerk St. Andrä) noch miterfassen konnten.

Beprobte wurden Auflage- und Oberbodenhorizonte, sowie an einer Stelle auch Schlackenhalde einer ehemaligen Blei/Zink-Hütte.

Als Hauptergebnisse sind zusammenzufassen:

- x Die Emissionen des Stahlwerkes Ravne sind in einer Reihe der Probepunkte dominierend und eindeutig ansprechbar. Diese Staubimmissionen legen sich wie ein Film über die Region, besonders deutlich sind sie aber im Nahbereich der oben angesprochenen Tiefenlinien.

Als Schwermetall-Spuren werden imitiert:

Ni, Cr, V, (Zn)	-	eher immobil
Pb, (Zn?)	-	leichter mobilisierbar.

- x Bodenbelastungen, die eventuell der Bleihütte Zerjav zuordenbar wären, sind im Raum Bleiburg-Lavamünd nicht direkt nachweisbar.

Da auch auf österreichischer Seite in dem Karawankenabschnitt zahlreiche Pb/Zn- Bergbaue und damit verknüpfte Aufbereitungs- und Hüttenbetriebe situiert waren, wird es wahrscheinlich nur mit sehr hohem Gelände- und Analysenaufwand möglich werden, diese Einflüsse jeweils kausal und kleinregional räumlich zu trennen.

Einzelne historische Blei-Schmelzbetriebe im Raum Bleiburg wirken mit ihren Emissionen eher lokal.

- x Emissionen aus dem Kohlekraftwerk St. Andrä können vorläufig nur sehr undeutlich in den nördlichsten Probepunkten bei St. Paul vermutet werden.

4.5 Salzach - Beispiel für Bewertung von Schwermetallquellen in alpinen Flüssen

Gezielte Flußsedimentuntersuchungen im Nahbereich industrieller Emittenten in Steiermark und Kärnten ließen schließen, daß bei der Interpretation von Schwermetallgehalten in Sedimenten der größeren inneralpinen Flüsse mit spezifischen Problemen zu rechnen sein wird.

Phasen aus dem Staubeintrag in der direkten Nachbarschaft der Emittenten können häufig Korngrößen von mehreren Zehntel-Millimetern bis > 1 mm aufweisen. Dazu kommt, daß schwermetallhaltige Phasen häufig spezifische Gewichte > 3 besitzen und somit unabhängig von ihrer Korngröße im aktiven Sediment (im Bachlauf) deutlich und sehr rasch in Richtung der Schwermineralfraktion separiert werden.

Dieser Umstand ist insbesondere relevant für die laufenden oder geplanten systematischen umweltgeochemischen Flußsedimentbeprobungen (z.B. NÖ, OÖ) und die Sedimentuntersuchungen nach der Wassergüte-Erhebungsverordnung (1991).

Bei den umweltgeochemischen Flußsedimentbeprobungen in Ober- und Niederösterreich wurden zwar zwei Kornfraktionen gezielt beprobt (Material für Proben $< 0,18$ mm und $< 0,04$ mm), jedoch nicht spezifisch auf Einbeziehung der Schwermineralfraktion geachtet.

Die Untersuchung nach WGEV 1991 bezieht sich nur auf einen Königswasserauszug an der Kornfraktion $< 0,04$ mm.

Aus der Erkenntnis dieser Problematik heraus beauftragte das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft tiefergehende Studien an Sedimenten ausgewählter WGEV-Punkte des Pinzgau und Pongau.

Neben gezielten geostatistischen Auswertungen der vorhandenen Bachsedimentgeochemie-daten („Geochemischer Atlas der Republik Österreich“) aus den jeweiligen Einzugsgebieten zur Charakterisierung geogener Hintergrundwerte wurden an den WGEV-Punkten zusätzliche Sedimentproben entnommen, bei denen insbesondere auf die Schwermineralfraktion geachtet wurde. Der Untersuchungsgang erfolgte nach der Beschreibung in Kap. 3.1 (NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. 1995).

Aus den Ergebnissen dieser Studie wird für die vorliegende Publikation eine methodisch wichtige Teilaussage dokumentiert - auch an einem inneralpinen Fluß der Größenordnung der Salzach lassen sich alle Einflüsse der Nebentäler mineralogisch nachweisen, wobei für jeden Nebenfluß eine eigene Charakteristik abgeleitet werden kann; die schwermetallführenden Phasen sind dabei überwiegend den verschiedenen Komplex-Sulfid-Vererzungen, den Bergbauaktivitäten und den damit verbundenen Verhüttungsaktivitäten zuzurechnen.

Nachfolgend sind für zwei Punkte an der Salzach (Mittersill und Schwarzach) sowie für je einen Punkt an der Rauriser und Gasteiner Ache zur Illustration dieser Aussage die Ergebnisse der mineralogischen Phasenanalyse tabellarisch aufgelistet.

Die einzelnen Tabellen-Kategorien beinhalten dabei:

Phase	-	Phasenbestand aufgrund der optischen Mikroskopie und der Mikrosondenaufnahmen
t/g	-	jeweilige Herkunft als geogen (g) oder technogen (t)
Häufigkeit	-	geschätzte, klassifizierte Häufigkeit in der Probe auf Basis der optischen Auswertung von Schliff- und Streupräparaten
		+ wenig
		++ mittel
		+++ viel
		++++ sehr viel
Spurenelement	-	über energiedispersive Analytik (EDAX) semiquantitativ festgestellte Spuren- bis Nebengehalte in den jeweiligen Phasen

Stabilität - **Stabilität der jeweiligen Phasen im Verwitterungskreislauf in
Ableitung aus den eigenen Schliiffbeobachtungen und aus Literatur-
angaben**

- **sehr stabil**
- + **relativ stabil**
- ++ **mäßig stabil**
- +++ **instabil**

**Im Umkehrschluß sind daraus analoge Hinweise auf eine mögliche
Element-Mobilisierbarkeit interpretierbar.**

**Anmerkungen - laut Literatur oder vorliegender eigener Vergleichsuntersuchungen
zusätzlich mögliche Spurenelementgehalte in den jeweiligen Phasen.
Aus technischen (physikalischen) Gründen können bei der semi-
quantitativen Analytik mittels EDAX manche Spurenelemente maskiert
und dann nicht direkt nachgewiesen werden.**

WGEV-Nr. 51110067

Proben-Nr. 950038 Salzach/Mittersill

Phase	technog./ geogen	Häufigkeit	Spuren- elemente	Stabilität	Anmerkungen
Magnetit	g(t)	++++		-	Ba,Cu,Pb,V,Zn,Y,Sn,Mo
Chromit(-Spinell)	g	++	Cr,Ti	-	Ni,Co
Cr-Magnetit	g	+		-	siehe Magnetit
Hämatit	g(t)	+++	Ti	-	V,Ni,Co,Ge,Mo
Ilmenit	g	+++	Mn	-	Zr,Cr,Ni,Mo,W,Ga
Ilmenithämatit, Hämatitilmenit	g	+		-	siehe Ilmenit
Wüstit	t	++		++	
Spinell	t	++	Zn,Ti	-	Cr,Ni,V,Zn,Pb
Al-Oxyd	t	+		-	
Olivin	t	+++		+++	Cr,Ni,Cu,Zn
Glasphase	t	++	Zn,S	++	
Fe-Hydroxyd	t/g	++	Cu,P,S	-	Pb,Zn,Cr,Ni,Cl
Magnetkies	g/t	++	Zn,Cu	+++	Co,Ni,Se,Ag
Pyrit	g	+++		+++	Co,Ni,Cu,Pb,As,Zn,Se,Ag,Au,Sb, Sn,V,Te
Kupferkies	g(t)	++		++	Co,Ni,Zn,Cd,Mo,Sn,Au,Ag,Se
Kupferglanz	t	+		++	Ag,Au,Ni,Co,Se
Bornit	t/g	++		++	Ag,Se
Markasit	g	+(+)		+++	As,Sb,Tl,Se
Zinkblende	g	+	Cd	++	Pb,As,Sn,Cu,Se,Co,Ni,Ga,Ge,Sb,Bi, Hg
metallisches Eisen	t	++		++	Cu
metallisches Titan	t	+		-	
Ferrosilizium	t	+	Cr,Ti	-	
Epidotminerale	g	+++		+	SE,Ga
Amphibole	g	++		+++	Mn,F,Zn,B,P,Cu,Li,Sc,Y,Ni,Co,Cr,V, Ga
Granat	g	+++		++	Cr,V,Ni,Co,Y,Sn,Cu
Biotit	g	++		+++	Zn,V,Sn,Cr,Ni,Co,Ga,Cu
Chlorit	g	++	Cr	++	Co,P,Ga,V,Ni
Fe-Karbonat	g	+		+++	Zn,V,Cu
Pyroxene	g	+		+++	Cr,V,Ni,Cl,Sc,Zn,P,Cu,Co,Li
Ti-Minerale	g	+++		-	Cr,V,F,Zr,Th,Nb,U,V,W,Sn,SE
Scheelit	g	++		-	SE,Nb,Mo,B,Cu,V
(Zirkon, Monazit, Xenotim)	g	++		-	SE,Pb,U
Apatit	g	+		+++	Ce,La,Y,Zr,W,Th,Cl,F

Tabelle 3: Ergebnisse der mineralogischen Analytik am WGEV-
Beobachtungspunkt Salzach/Mittersill

x Leichtfraktion/Sedimentmatrix:

Besteht überwiegend aus Quarz und (gefülltem) Plagioklas, daneben treten Chlorit, Biotit (häufig Mg-reich) und Hellglimmer auf, untergeordnet Karbonat und Turmalin.

x Schwerefraktion:

Geogen stark vertreten sind Magnetit, Hämatit, sowie Hochtemperatur-Ilmenit (Hämatit-Ilmenit); stark vertreten sind auch Minerale, die auf polymetallische Vererzungen hinweisen (z.B. Cd-führende Zinkblende). Turmalin ist in Zusammenhang zu bringen mit den hydrothermalen Mineralisationen in der Habachserie und dem Innsbrucker Quarzphyllit; häufig sind auch Granat und Scheelit.

Aus technogenen Quellen sind häufig Schlackenpartikel mit hohen Cu-Gehalten nachzuweisen, die in Zusammenhang stehen mit der Verhüttung polymetallischer Vererzungen. Die Spurenelementgehalte liegen in Form feinsten Einschlüsse in den Schlackenpartikeln vor, woraus sie laufend über die Verwitterung oder Zerkleinerung im Flußsediment freigesetzt werden.

Obwohl flächenmäßig die Einzugsgebiete auf der Tauernseite überwiegen, verweist das geogene Mineralspektrum darauf, daß auch durchaus die Einzugsgebiete auf der Nordflanke (Innsbrucker Quarzphyllit) den Aufbau der Flußsedimente an diesem WGEV-Punkt mitbestimmen.

Auf Basis der Schliffpräparate wird der Anteil der schwermetallhaltigen Phasen in der Fraktion < 40 µ auf ca. 10 % geschätzt (ca. 3 - 5 % Sulfide).

WGEV-Nr. 52110077

Proben-Nr. 950020 Salzach/Schwarzach

Phase	technolog./ geogen	Häufigkeit	Spuren- elemente	Stabilität	Anmerkungen
Magnetit	t/g	++++	Ti	-	Ba, Cu, Pb, V, Zn, Y, Sn, Mo *)
Hämatit	t/g	++	Ti	-	V, Ni, Co, Ge, Mo
Chromit, Cr-Spinell	g	+	V, Ti, Zn	-	Ni, Co
Cr-Magnetit	g	+	Cr	-	siehe Magnetit
Wüstit	t	++	Mn	++	Zn, Ni
Ilmenit	g	+	Mn	-	Zr, Cr, Ni, Mo, W, Ga
Ilmenithämatit, Hämatitilmenit	g	++	Mn	-	siehe Ilmenit
Fe-Hydroxyd	t/g	+++	Zn, Mn, S, Cu	-	Pb, Cr, Ni, Cl, P
Spinell	t	+	Mn	-	Cr, Ni, V, Zn, Pb
Olivin	t	++	Cu, Ti, Zn	++	Cr, Ni
Glasphase	t	++	Zn, Mn, Ti, S, Na	++	
Magnetkies	t/g	+++	Zn, Cu	+++	Co, Ni, Se, Ag
Markasit	g	+		+++	As, Sb, Ti, Se
Kupferkies	g	+		++	Co, Ni, Zn, Cd, Mo, Sn, Au, Ag, Se
Bornit	g/t	+		++	Ag, Se
Pyrit	g	++		+++	Co, Ni, Cu, Pb, As, Zn, Se, Ag, Au, Sb, Sn, V, Fe
metallisches Eisen	t	++	Cu	++	
Calciumferrit	t	+		-	V, Cr, Ni, P, Mn
Bronze	t	+	Sn, Zn	++	
Ferrosilizium	t	+	Cr, Ti, V	-	
(Cr, V)-Stahl	t	+	V, Cr, S	-	
Ti-Minerale	g	+++			Cr, V, F, Zr, Th, Nb, U, V, W, Sn, SE **)
Amphibole	g	+		+++	Mn, F, Zn, B, P, Cu, Li, Sc, Y, Ni, Co, Cr, V, Ga
Granat	g	++	Mn	++	Cr, V, Ni, Co, Y, Sn, Cu
Chlorit	g	++	Cr, Ni	++	Co, P, Ga, V
Biotit	g	+		+++	Zn, V, Sn, Cr, Ni, Co, Ga, Cu
Fe-Karbonat	g	+		+++	Zn, V, Cu
Zirkon, Monazit, Xenotim	g	+	Th	-	SE, Pb, U
Epidotminerale	g	+++	La, Ce, Th	+	SE, Ga
Baryt	g	+		-	Hg, Pb, Co
metallisches Ti	t	+		-	
Scheelit	g	++		-	SE, Nb, Mo, B, Cu, V

*) laut Literatur zusätzlich häufiger Spurenelementgehalte

**) Seltene Erden

Tabelle 4: Ergebnisse der mineralogischen Analytik am WGEV-Beobachtungspunkt Salzach/Schwarzach

x Leichtfraktion/Sedimentmatrix:

Besteht überwiegend aus Quarz und Karbonat, daneben Glimmer (großblättrig), Chlorit, Hochtemperaturilmeneit (Ilmenohämatit), Plagioklas gegenüber Punkt Gries stärker zurücktretend; vereinzelt Turmalin.

x Schwerefraktion:

Geogen überwiegend Magnetit, daneben Magnetkies, Kupferkies, Markasit; häufig auch Ti-Minerale, Granat; Baryt und Amphibole.

Aus technogenen Quellen stammen Olivinmischkristalle und Glasphasen mit Cu und Zn, sowie Magnetkies ebenfalls mit Zn und Cu im Gitter, metallisches Eisen (+ Cu). Technogene Phasen lassen darauf schließen, daß Kiesvererzungen sowohl zu Eisen-, als auch Kupfergewinnung herangezogen wurden. Titan in Glasphasen und Ferrosilizium weist auf die Verwendung basischer Gesteine bei Verhüttungsprozessen.

An diesem Punkt dominieren die Tauerninzugsgebiete das Flußsediment.

Auf Basis der Schluffpräparate wird der Anteil schwermetallhaltiger Phasen in der Fraktion <40µ auf ca. 5 % geschätzt (hauptsächlich schwermetallführende Sulfide).

WGEV-Nr. 51120447

Proben-Nr. 950029 Rauriser Ache

Phase	technog./ geogen	Häufigkeit	Spuren- elemente	Stabilität	Anmerkungen
Magnetit	g(t)	++++		-	Ba,Cu,Pb,V,Zn,Y,Sn,Mo
Hämatit	g(t)	+++		-	V,Ni,Co,Ge,Mo
Chromit (Cr-Spinell)	g	+		-	Ni,Co
Wüstit	t	+	Mn	++	Zn,Ni
Ilmenit	g	+++	Mn	-	Zr,Cr,Ni,Mo,W,Ga
Ilmenithämatit, Hämatitilmenit	g	+		-	siehe Ilmenit
Maghemit	g	+		-	
Spinell	t	+		-	Cr,Ni,V,Zn,Pb
Fe-Hydroxyde	g/t	+++	S,Ni	-	Pb,Cr,Cl,P
Olivin	t	+++	Mn,Zn,S	++	Cr,Ni
Glasphase	t	++	Mn,Zn,S	++	
Magnetkies	g/t	+++	Ni,Zn,Cu	+++	Co,Se,Ag
Pyrit	g	+++		+++	Co,Ni,Cu,Pb,As,Zn,Se,Ag,Au,Sb,Sr, V,Te
Markasit	g	++		+++	As,Sb,Tl,Se
Bornit	t/g	++	Ni,Mn	++	Ag,Se
Kupferkies	g	++		++	Co,Ni,Zn,Cd,Mo,Sn,Au,Ag,Se
Pentlandit (Gold)	g	++		++	Co,Cu,As,Zn,Pb,Cr,Nb
Elektrum	g	+		-	
metallisches Eisen	t	+		++	Cu
Ti-Mineraie	g	+++		-	Cr,V,F,Zr,Th,Nb,U,V,W,Sn,SE
Epidotminerale	g	++++		+	Ga,SE
Amphibole	g	++		+++	Mn,F,Zn,B,P,Cu,Li,Sc,Y,Ni,Co,Cr,V, Ga
Granat	g	++		++	Cr,Ni,V,Co,Y,Sn,Cu
Chlorit	g	++		++	Co,P,Ga,V,Ni,Cr
Biotit	g	+		+++	Zn,V,Sn,Cr,Ni,Co,Ga,Cu
Chloritoid	g	+		++	
Baryt	g	+		-	Hg,Pb,Co
(Zirkon, Monazit, Xenotim)	g	+		-	SE,Pb,U
Scheelit	g	+++		-	SE,Nb,Mo,B,Cu,V

*Tabelle 5: Ergebnisse der mineralogischen Analytik am WGEV-
Beobachtungspunkt Rauriser Ache*

x Leichtfraktion/Sedimentmatrix:

Besteht überwiegend aus Quarz und Feldspat (Plagioklas, gefüllt), daneben Karbonat, Chlorit;
untergeordnet Hellglimmer und Biotit, Turmalin

x Schwerefraktion:

Geogen stark vertreten sind Magnetit, Hämatit, Ilmenit, sowie eine breite Palette an Sulfiden (Pyrit, Markasit, Kupferkies, Pentlandit und Ni-führender Magnetkies); Scheelit, Ti-Minerale, Epidotminerale, Baryt, ebenfalls häufig; in geringeren Mengen Biotit, Chlorit, Granat; Elektron.

Aus technogenen Quellen stammen häufig aufzufindende Schlackenpartikel mit feinstverteilten Schwermetalleinschlüssen (Ni, Zn), die bei Zerfall dieser Partikel freigesetzt werden.

Das Sediment der Rauriser Ache wird also stark charakterisiert durch die polymetallischen Kiesmineralisationen und ihre Gewinnung und Verhüttung.

Auf Basis der Schliffpräparate wird der Anteil schwermetallhaltiger Phasen in der Fraktion <40µ nur auf ca. 3 % geschätzt.

WGEV-Nr. 52120107

Proben-Nr. 950026 Gasteiner Ache/Hundsdorf

Phase	technog./ geogen	Häufigkeit	Spuren- elemente	Stabilität	Anmerkungen
Magnetit	g/t	++		-	Ba,Cu,Pb,V,Zn,Y,Sn,Mo
Hämatit	g/t	++		-	V,Ni,Co,Ge,Mo
Ilmenit	g	+++	Mn	-	Zr,Cr,Ni,Mo,W,Ga
Ilmenithämatit, Hämatitilmenit	g	+++		-	siehe Ilmenit
Wüstit	t	+		++	Zn,Ni
Spinell	t	+	Ti,Mn	-	Cr,Ni,V,Zn,Pb
Fe-Hydroxyde	g/t	++		-	Cr,Ni,Pb,Zn,Mn,S,Cu,Cl,P
Olivin	t	++	Cu,Zn, Mn	++	Cr,Ni,Cu,Zn
Glasphase	t	+	S,Mn,Zn, Mn,Cu	++	
Magnetkies	t/g	++	Zn,Cu	+++	Co,Ni,Se,Ag
Pyrit	g	+++		+++	Co,Ni,Cu,Pb,As,Zn,Se,Ag,Au,Sb,Sn, V,Te
Bornit	t	+		++	Ag,Se
Kupferkies	g	++		++	Co,Ni,Zn,Cd,Mo,Sn,Au,Ag,Se
(Pb,Fe,Cu)-Sulfosalze	t	++		++	
metallisches Eisen	t	++		++	Cu
Ti-Mineraie	g	+++		-	Cr,V,F,Zn,Th,Nb,U,V,W,Sn,SE
Epidotminerale (häufig Orthit)	g	+++	La,Ce,Th	+	SE,Ga
Amphibole	g	++(+)	Ni	+++	Mn,F,Zn,B,P,Cu,Li,Sc,Y,Co,Cr,V,Ga
Chlorit	g	++		++	Co,P,Ga,V,Cr,Ni
Chloritoid	g	+		++	
Pyroxene	g	+		+++	Cr,V,Ni,Cl,Sc,Zn,P,Cu,Co,Li
Biotit	g	+		+++	Zn,V,Sn,Cr,Ni,Co,Ga,Cu
Granat	g	+++	Mn	++	Cr,V,Ni,Co,Y,Sn,Cu
Akz. (Monazit, Zirkon, Xenotim)	g	+	Ce,La,Th	-	SE,Pb,U
Scheelit		+++		-	SE,Nb,Mo,B,Cu,V

**Tabelle 6: Ergebnisse der mineralogischen Analytik am WGEV-
Beobachtungspunkt Gasteiner Ache/Hundsdorf**

x Leichtfraktion/Sedimentmatrix:

Besteht überwiegend aus Quarz, Plagioklas (kaum gefüllte Exemplare) und Kalifeldspat; wenig Karbonat und Chlorit; sehr geringe Gehalte an Biotit, Epidot und grobblättrigem Muskovit; vereinzelt Turmalin.

x Schwerefraktion:

Geogen dominieren Sulfide (Pyrit, Kupferkies), häufig sind Ilmenit und Hochtemperatur-Ilmenohämatit, Ti-Minerale, Epidotmineral, Amphibole und Granat; untergeordnet Chlorit und Biotit.

Sehr charakteristisch sind technogene (Pb,Fe,Cu)-Sulfosalze als Einschlüsse in Schlackenpartikeln, die aus Verhüttungsprozessen As-Au-führender Mineralisationen stammen.

Auf Basis der Schliffpräparate wird der Anteil schwermetallhaltiger Phasen in der Fraktion <40µ auf weniger als 5 % geschätzt.

5. Literatur, Unterlagen

AGRELL, S.O.:

Mineralogical observations on some basic open-hearth slags. J.Iron Steel Inst.Nr. 2 (1945), Bd. CLII, S. 19 - 55.

AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG:

Niederösterreichische Bodenzustandsinventur. -
Wien 1994

AMT DER OÖ LANDESREGIERUNG:

Oberösterreichische Bodenzustandsinventur. -
Linz 1993

AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG:

Salzburger Bodenzustandsinventur. -
Salzburg 1993

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG:

Bericht über den Zustand der Tiroler Böden 1983. -
Innsbruck 1989

ANTHONY, J.W., BIDEAUX, R.A., BLADH, K.W. & NICHOLS, M.C.:

Handbook of Mineralogy, Volume I, Elements, Sulfides, Sulfosalts. -
Mineral Data Publishing, Tucson, Arizona

BETECHTIN, A.G.:

Lehrbuch der speziellen Mineralogie, 1974, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig

BLANKENBURG, H.J. & SOMMER, A.:

Freisetzung, Migration und Fixierung der anorganischen Komponenten der Braunkohle in Staubfeuerungsanlagen. -
Silikatechnik 36, Heft 1, 1985

BLUM, W.E.H. et al.:

Bodenzustandsinventur. Konzeption, Durchführung und Bewertung. -
BMLF, Wien 1989

BLUM, W.E.H. et al.:

Bodenschutzkonzeption, Bodenzustandsanalyse und Konzepte für den Bodenschutz in Österreich. -
BMLF, Wien 1989

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT:

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Erhebung der Wassergüte in Österreich (Wassergüte-Erhebungsverordnung - WGEV).

ENGLISCH, M., KILIAN, W. & MUTSCH, F.:

Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Erste Ergebnisse. -
FBVA Berichte, 48, Wien 1991

- GROTHER, H. (Herausgeber):
Lexikon der Hüttentechnik. -
Band 5, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH., Stuttgart 1963
- HALBWACHS, G.:
Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein. -
Carinthia II, 39. SH., Klagenfurt 1982
- HAUSBERGER, G.:
Bericht über Kartendokumentation und Visualisierung der Verknüpfungen
zwischen geochemische, bodenkundlichen und geologischen Parametern,
Geostatistik. -
Unveröffentl. Bericht im Rahmen des Forschungsprojektes „Bodenzustand
Voitsberg-Köflacher Becken“, Leoben 1995
- HEINZ, F.:
Erzeugung von NE-Metallen. -
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- HONSIG-ERLENBURG, W. et al.:
Kärntner Fließ-Gewässergüteatlas. -
Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt 1990
- HUSZ, G.:
Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986. -
Lebensraum Vorarlberg, 2, Bregenz 1987
- KASPEROWSKI, F.:
Schwermetalle in Böden im Raum Arnoldstein. -
Umweltbundesamt, Monographien, 33, Wien 1993
- KEIL, F.:
Hochofenschlacke.
Stahleisen-Bücher, Band 7, Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf 1949
- KOVAR, A. & PUXBAUM, H.:
Nasse Deposition im Ostalpenraum. -
Inst.f.analytische Chemie der TU Wien, Wien/München 1992
- KOVAR, A. et al.:
Kartierung der Deposition von SO_x , NO_x , NH_x und basischen Kationen in Österreich.
Inst. für analytische Chemie der TU Wien, Wien 1992
- MATUSCHKA, B. & CLESS, F.:
Legierungen in der Edeltahlerzeugung.
Stahl und Eisen, 1936, H. 27, 56. Jahrgang, S. 757 - 766
- MERKEL, Th.:
Taschenbuch der Werkstoffe. -
Fachbuchverlag Leipzig - Köln 1994
- NEINAVAIE, H.:
Prospektion 1986 auf Wolfram, Molybdän und Zinn in ausgewählten
Gebieten des Mühl- und Waldviertels. -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1987

NEINAVAIE, H.:

Testweise Mikrosondenuntersuchungen an Ti-haltigen Schwermi-
neralphasen im Gebiet Brückl/Wandelitzen in Hinblick auf begleitende
Sonderelemente. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1988

NEINAVAIE, H.:

Anomale Elementanreicherung in Bodenproben im Raum Leoben -
Trofaiach - St. Michael - Kraubath. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1989

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen von Deponiematerial des Stahlwerkes
Judenburg. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1990

NEINAVAIE, H.:

Verifizierung von 12 geochemischen Anomalien mittels Mineralphasen-
analytik am Beispiel der Elemente Titan, Niob, Wolfram, Zinn u.a. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1990

NEINAVAIE, H.:

Verifizierung von 12 geochemischen Anomalien mittels Mineralphasen-
analytik am Beispiel der Elemente Titan, Niob, Wolfram, Zinn u.a. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1991

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen am Konverterausbruchsmaterial zur
Klärung des Zink- und Blei-Gehaltes (Linz). -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1991

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen an Sinterproben - Donawitz. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1991

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen an Bleischlacke, pelletiertem Flugstaub sowie
magnetischer Fraktion von Bodenproben aus dem Gebiet Zerjav/Slowenien. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1992

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen an ausgewählten Proben (Mineralböden
auf Auflagehorizonte) im Gebiet Krappfeld/Kärnten zwecks Verifizierung
geogener und technogener Schwermetallgehalte; 1. Teilbericht. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1993

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchung als Werkzeug für gezielte Ansprache und
Bewertung geogener und technogener Schwermetallverteilungen. -

Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1994

NEINAVAIE, H.:

Mineralogisch-phasenanalytische Bearbeitung von ausgewählten Bodenprobepunkten und Haldenmaterialien als Instrument kausalanalytischer Bewertung von Schwermetallgehalten und deren Zuordnung zu ihren Emissionsquellen (Köflach-Voitsberger Becken). -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1994

NEINAVAIE, H.:

Mineralogisch-phasenanalytische Bearbeitung von Sedimentproben des Vordembergerbaches. -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1994

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen in Auflage/Oberboden, Bereich Jesenice (Slowenien). -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1995

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen in Auflage/Oberboden, Bereich Velenje (Slowenien). -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1995

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen in Böden und Sedimenten, Bereich Plomin (Kroatien). -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1995

NEINAVAIE, H.:

Mineralphasenuntersuchungen in Auflage/Oberboden und Haldenmaterialien, Bereich Bleiburg/Lavamünd (Kärnten). -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1995

NEINAVAIE, H.:

Ergebnisbericht zur mineralogischen Untersuchung von zwei Proben Entschwefelungsschlacke. -
Unveröffentl. Bericht im Auftrag Leobener Umwelttechnik, Eisenerz 1995

NEINAVAIE, H. & PIRKL, H.:

Sedimentuntersuchungen am Vordembergerbach im Abschnitt Donawitz als Teilschritt zur Bewertung der Gewässerbeschaffenheit. -
Unveröffentl. Bericht im Auftrag Leobner Umwelttechnik, Eisenerz 1994

NEINAVAIE, H. & PIRKL, H.:

Dateninterpretation von Schwermetallen anhand von Sedimentuntersuchungen und Geostatistik an ausgewählten WGEV-Meßstellen in Salzburg. -
Unveröffentl. Bericht im Auftrag BMLF, Eisenerz 1995

NEINAVAIE, H. & PIRKL, H.:

Geogene Schwermetallverteilungen an BZI-Punkten Salzburgs. -
Unveröffentl. Bericht im Auftrag BMWFK und Amt der Salzburger Landesregierung, Eisenerz 1996

- NOLL, W.:
Alte Keramiken und ihre Pigmente. Studien zu Material und Technologie. -
E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1991
- OBERAUER, K.:
Mikroskopische Untersuchungstechnik der Eisenhüttenschlacken. Hdb. der
Mikroskopie i.d. Technik, Bd. I, T. 1, S. 495 - 518
- PICOT, P. & JOHAN, Z.:
Atlas of ore Minerals. -
B.R.G.M. Elsevier 1982
- PIRKL, H.:
Beschreibung des Bodenzustandes im Krappfeld hinsichtlich Problemelement-
belastung in Abhängigkeit des geogenen Angebotes bzw. der anthropogenen
Beeinflussung sowie der Bewertung von Böden in der Funktion als Schutzschicht
über dem Grundwasser. -
Unveröffentl. Bericht im Auftrag BMWF und Amt der Kärntner Landesregierung,
Eisenerz 1993
- PIRKL, H.:
Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und
bei Umweltgeochemie in Kalkarealen, 2. Phase. -
Unveröffentl. Bericht im Auftrag Geol. B.A., Eisenerz 1995
- PIRKL, H. & POLLAK, M.:
Bericht über Auswertung bach- und bodengeochemischer Daten als Basis der
Definition litho- und pedogener Schwermetall-Backgroundwerte. -
Unveröffentl. Bericht im Rahmen des Forschungsprojektes „Bodenzustand
Voitsberg-Köflacher Becken“, Wien 1994
- PIRKL, H., POLLAK, M., THALMANN, F. & WENZEL, W.:
Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und
bei Umweltgeochemie in Kalkarealen. Endbericht 1. Phase. -
Unveröffentl. Bericht, Eisenerz 1993
- RAMDOHR, P.:
Die Erzminerale und ihre Verwachsungen.
2. Auflage, Akademie-Verlag, Berlin 1975
- REIMANN, C.:
Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme. Mineralogische, geochemische
und statistische Detailuntersuchungen an Bachsedimenten im alpinen Bereich. -
Berichte der Geol. Bundesanstalt, 10, Leoben 1987
- RIEDERER, J.:
Archäologie und Chemie - Einblicke in die Vergangenheit. -
Forschungslabor SMPK, Rathgen 1987
- RÖSLER, H.J. & LANGE, H.:
Geochemische Tabellen, Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart 1976

- ROTH, P.W.:
Glas und Kohle, Katalog. -
Leykam Verlag 1988
- RUMBLE, D.:
Reviews in Mineralogy, Volume 3, Oxide Minerals, Mineralogical Society of
America, 1981
- SCHERMANN, O.:
Erhebung des geogenen Naturraumpotentials im Raum Kitzbühel - Ausarbeiten
eines Bewertungsmodelles hinsichtlich Risiko- und Folgenutzungspotential von
ehemaligen Bergbau- und Hüttenstandorten. -
Unveröffentl. Bericht Geol.B.A., Wien 1993
- SMIDT, St.:
Messungen der nassen Deposition in Österreich. -
FBVA Berichte, 27, Wien 1988
- SMIDT, St.:
Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. -
FBVA Berichte, 50, 1991
- SOUVENT, P.:
Pedoloske, geokemicne in mineraloske preiskave tal v okoloco zelezame Ravne. -
Diplomarbeit Universität Ljubljana, 1994
- SPINDELBACHER, Ch. et al.:
Montanwerke Brixlegg. Wirkungen auf die Umwelt. -
Umweltbundesamt, Monographien, 25, Wien 1990
- THALMANN, F.:
Untersuchungsmethodik bei Bodenbeobachtungssystemen - Einfluß der
Lithologie, Probandichte etc. auf die Interpretation bodenchemischer Daten. -
Verbandszeitschrift Verband der Berg- und Hütterschule Leoben, Leoben 1992
- TRÖGER, W.E.:
OPTISCHE Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. -
Teil 1 - Bestimmungstabellen (1982)
Teil 2 - Textband (1969)
E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- TROJER, F.:
Die oxidischen Kristallphasen der anorganischen Industrieprodukte.
E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (1963)
- UMWELTBUNDESAMT:
Naturwissenschaftlicher Problem- und Zielkatalog zur Erstellung eines
österreichischen Bodenschutzkonzeptes. -
Wien 1988
- VEREIN DEUTSCHER EISENHÜTTENLEUTE: 1981
Schlackenatlas, Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf

- VOGEL, W.R.:
Die Treibacher Chemischen Werke. Wirkungen auf die Umwelt. -
Umweltbundesamt, Monographien, 26, Wien 1991
- VOLKERT, G. und DURRER, R.:
Die Metallurgie der Ferrolegierungen. -
Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1953
- VRECA, P.:
Geokemija tal na karbonatnih kamninah med zelezno kaplo in ravnami na Koroskem. -
Diplomarbeit Universität Ljubljana, 1995
- WEDEPOHL, K.H.:
Handbook of Geochemistry, Springer Verlag Berlin
Heidelberg, New York, 1967 - 1978
- WEINZIERL, O. & WOLFBAUER, J.:
Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallverteilungen in
Böden mittels Hauptkomponentenanalyse. -
Mitt.Österr.Geol.Ges., 83, Wien 1991
- WEISS, P. et al.:
Schadstoffe im Raum Linz. -
Umweltbundesamt, Monographien, 20, Wien 1992
- ZEPIC, H. & PICHLER, F.:
Möglichkeiten und Grenzen der geostatistischen Analyse in immissionsbe-
dingten Bodenbelastungen im Großraum der Schwerindustrie. -
Unveröffentl. Bericht Greenteam, Leoben 1994
- ZSCHACH, S.:
Mineralogische Eigenschaften von Braunkohlenfilteraschen. -
Chem. Erde, Bd. 37, S. 330 - 356, 1978

A N H A N G

Mineralphasenuntersuchungen

Ausgewählte Beispiele von Schliff- bildern und Elementverteilungen

Tabelle A1

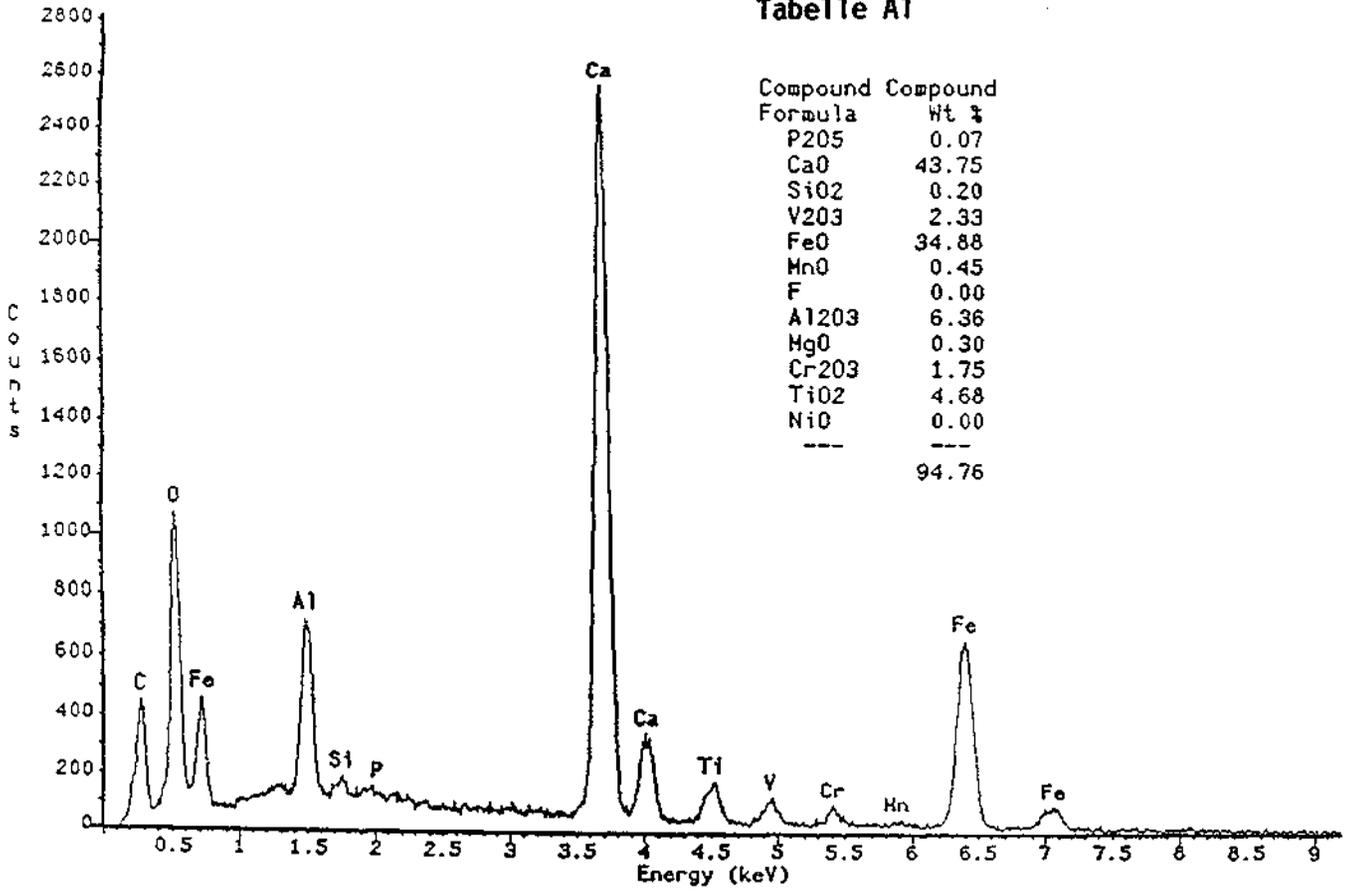


Abb. A1: Elementspektrum und chemische Zusammensetzung von Dicalciumferrit (energiedispersives Analysensystem).

Calciumferrite können durch ihre charakteristische Schwermetallführung häufig als Leitphasen zur Identifizierung verschiedener Hüttenprozesse angewandt werden.

Bodenprobe, Ah-Horizont
SE Voitsberg

123 CNT

5300 EU
Link Systems 860 Analyser

BK F0: A
26 EU/CHAN
13-Jul 94

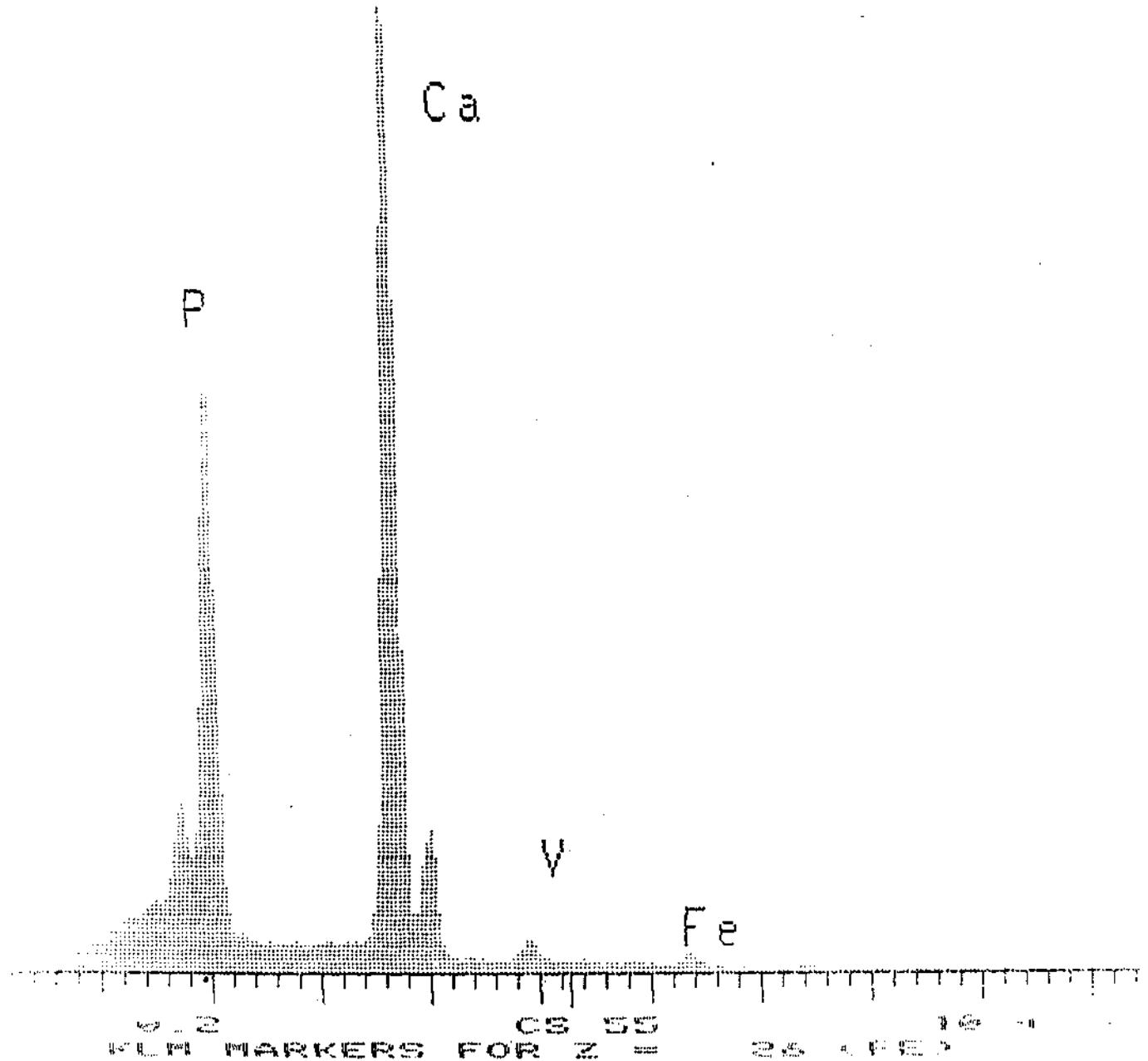


Abb. A2: Elementspektrum von Apatit mittels Mikrosonde (energiedispersives Analysensystem).
Technogene Apatite sind meist durch einen Vanadiumgehalt gekennzeichnet. V^{+5} tritt als Ersatz für P^{+5} auf.

Bodenprobe aus Acker neben glasverarbeitendem Betrieb, Nordtirol

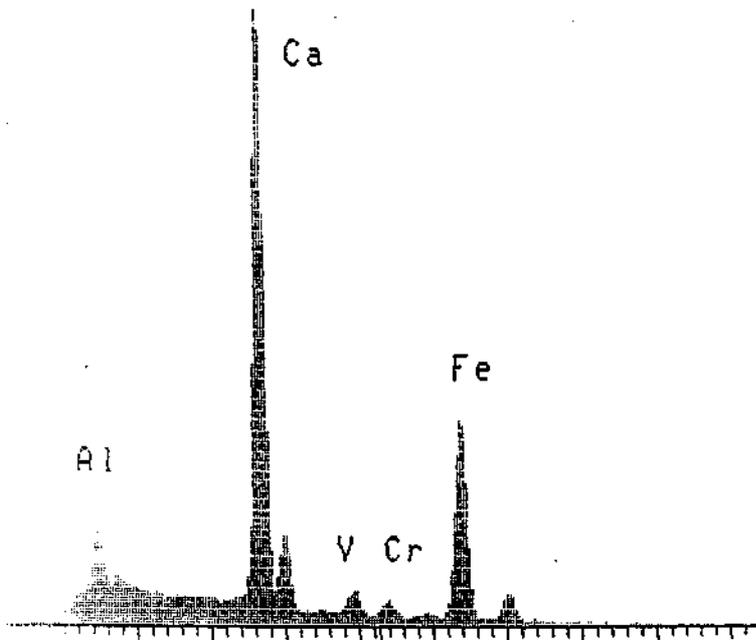


Abb. A3: Elementspektrum von Calciumferrit

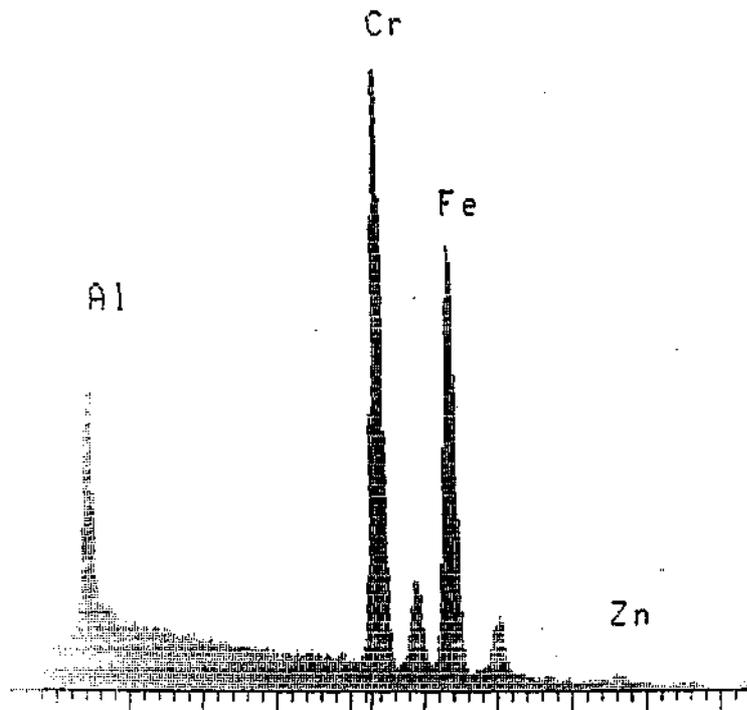


Abb. A4: Elementspektrum von geogenem Chromit

Das Auftreten von Chromit und Calciumferrit als Beispiel für überlagernde Schwermetallführung im gleichen Bodenhorizont.

Bodenprobe (Ah-Horizont), N Köflach

87 CNT 4540 EU 2K FS: A
Link Systems 860 Analyser 20 EU/CHAN 24-Mar-93

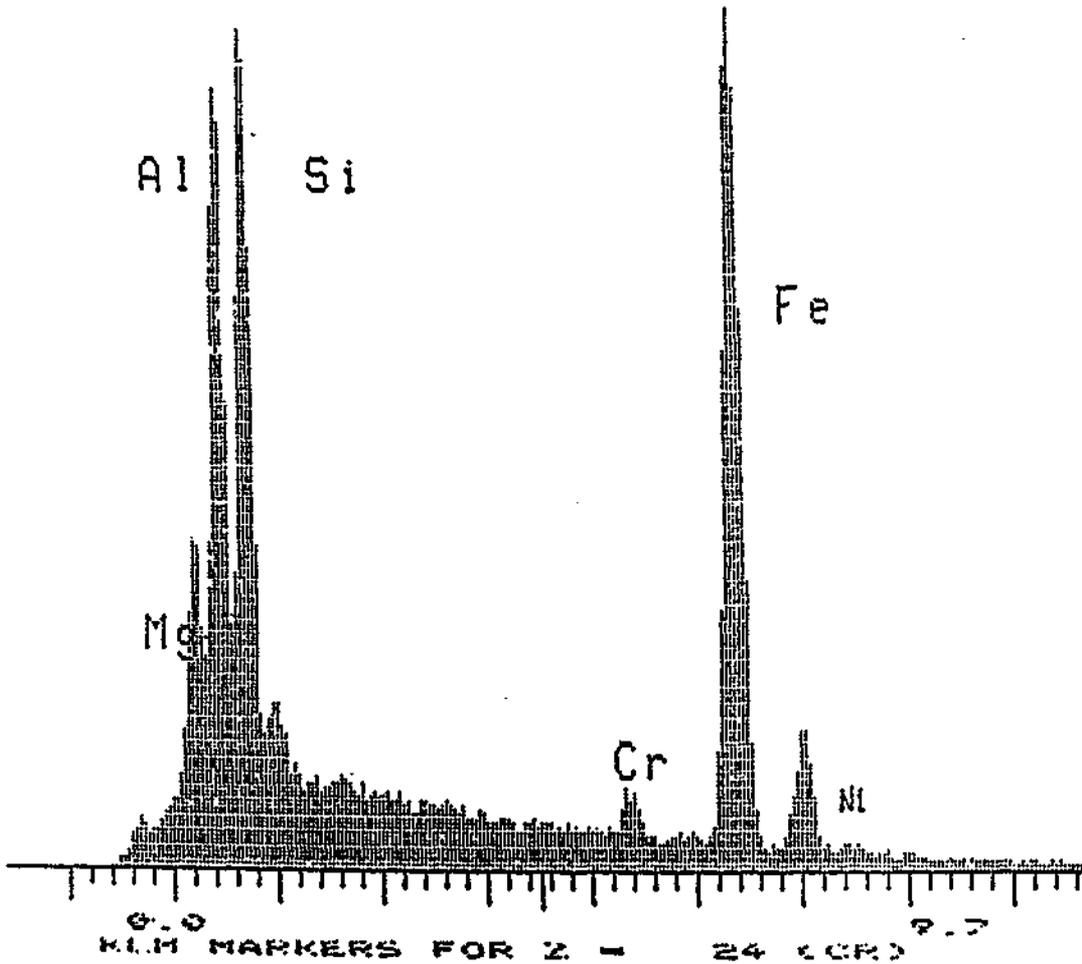


Abb. A5: Elementspektrum von Cr-hältigem Chlorit als Beispiel für geogene Herkunft des Chroms, wo Mg^{2+} durch Fe^{2+} und Ni^{2+} , Al^{3+} durch Fe^{3+} und Cr^{3+} ersetzt werden. Energiedispersives Analysensystem, Mikrosonde Chloritschiefer (Gesteinsfragment in Bodenprobe), Gebiet Krappfeld/Kärnten

421 CNT

5040 PU
Link Systems 860 Analyser

10000000
10000000
10000000

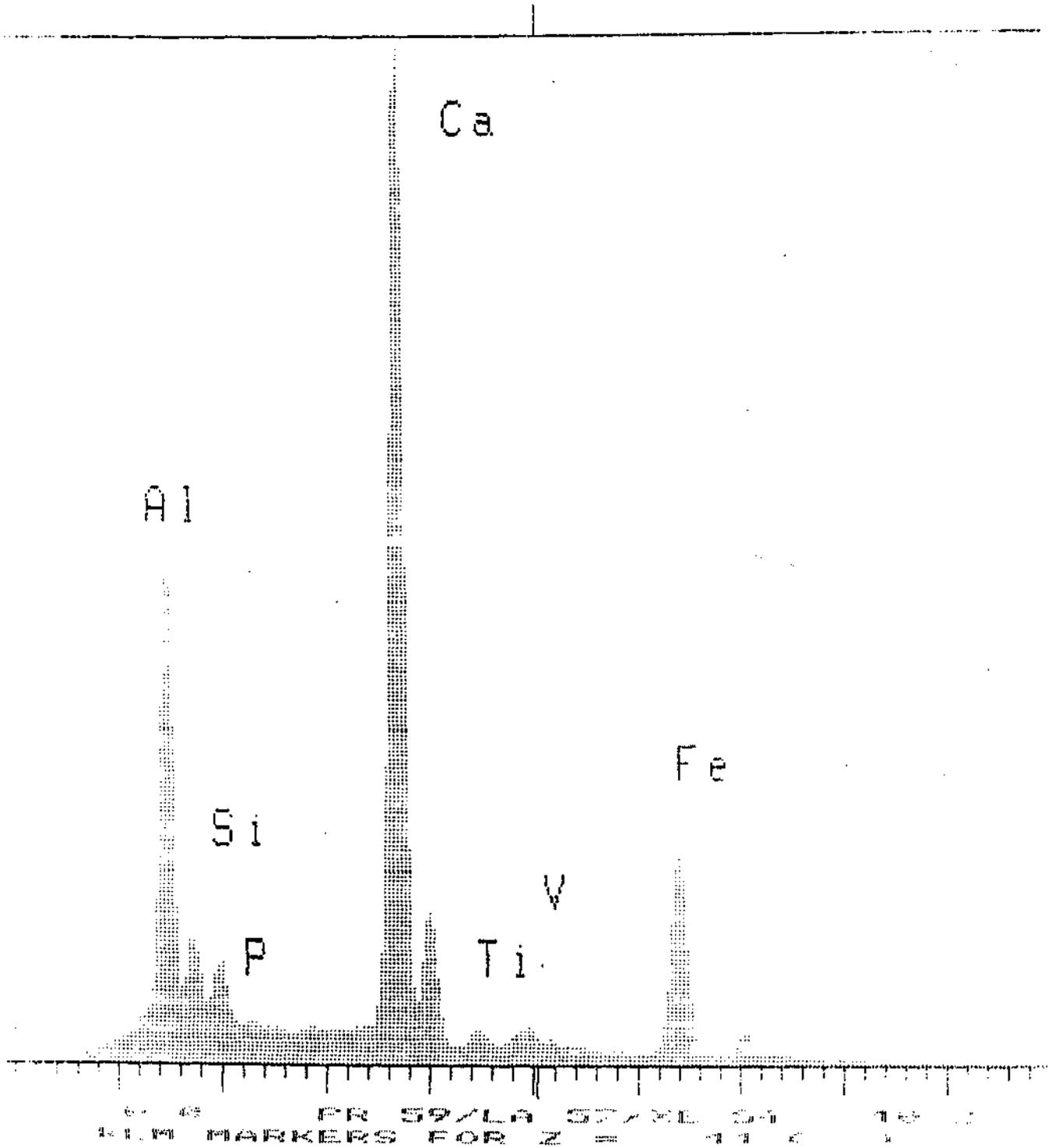


Abb. A6: Elementspektrum von Eisen-Calcium-Aluminat (energiedispersives Analysensystem), eine häufig in Kohlekraftwerksaschen auftretende Phase.
Asche, Kohlekraftwerk Voitsberg

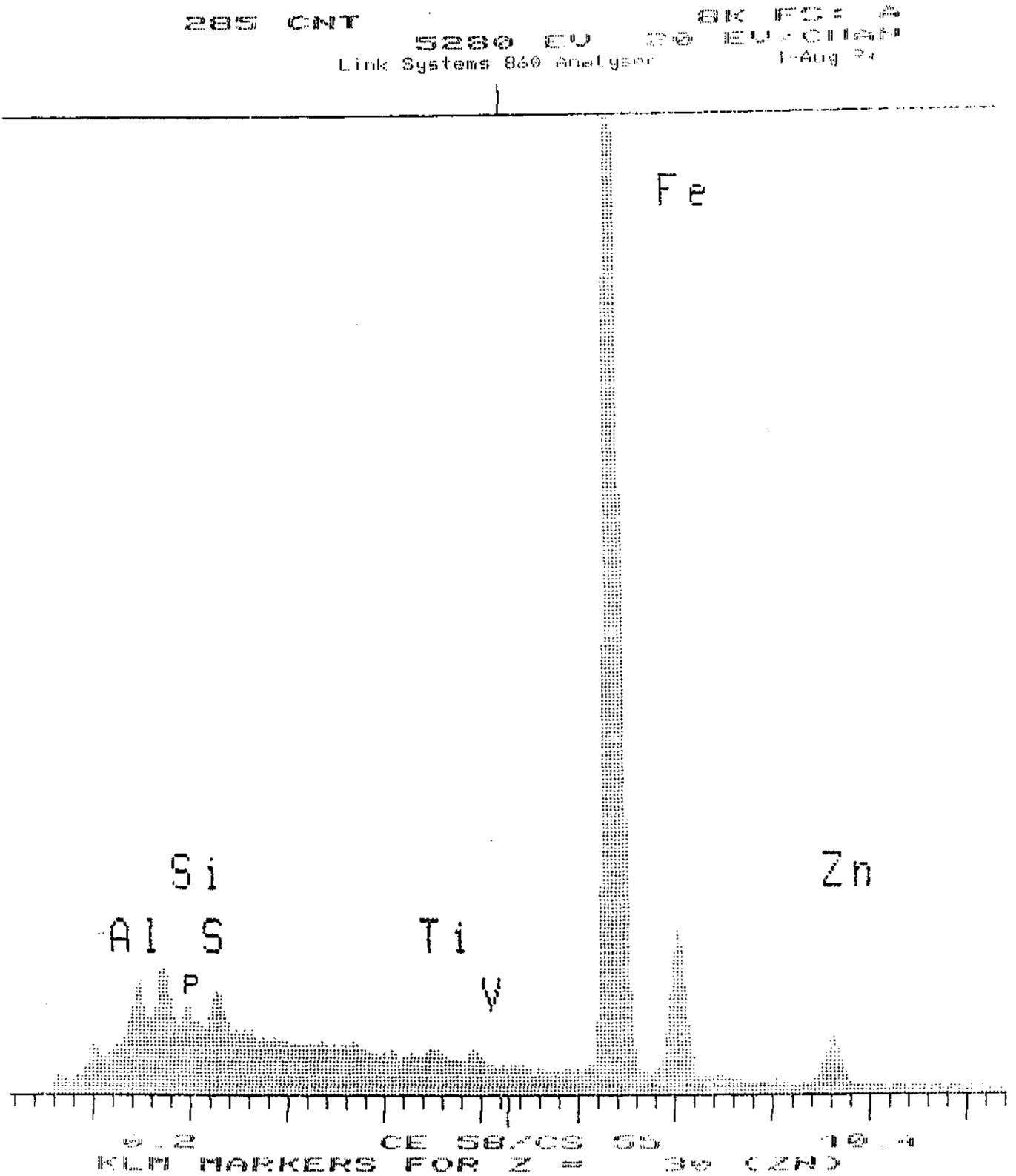


Abb. A7: Elementspektrum von Eisenhydroxyd mittels Mikrosonde (energie-dispersives Analysensystem).
Die Eisen-(Mangan)-Hydroxyde führen nicht selten, je nach ihren primären Ausgangsphasen, verschiedene Schwermetalle wie Pb, Zn, Ni und V.

Bodenprobe (Ah-Horizont), E Voitsberg

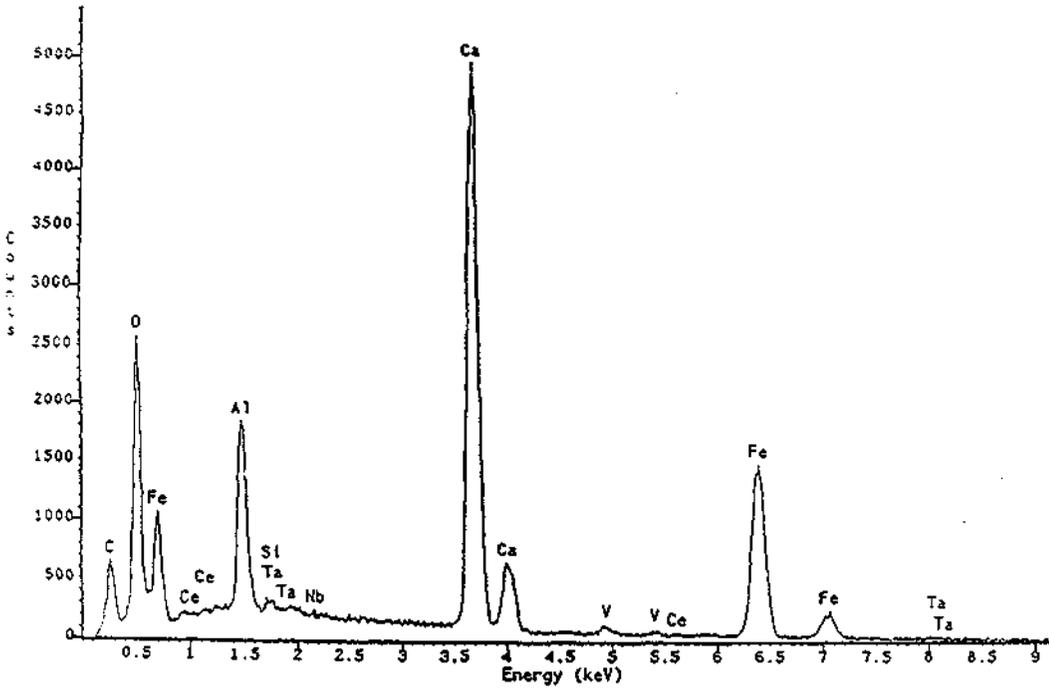


Abb. A8: Elementspektrum von Calciumferrit (siehe Tabellen A2 und A3). Die Elemente Nb, Ta und V deuten auf eine Ferrolegierung-erzeugende Industrie hin, z.B. Herstellung von Ferroniob, Ferrovanadium und Ferrotantal durch Sondermetall-Betrieb.

Tabelle A2		Tabelle A3		Tabelle A4	
Formula	Compound%	Formula	Compound%	Formula	Compound%
SiO2	0.23	SiO2	0.25	SiO2	0.11
TiO2	3.58	TiO2	2.91	TiO2	0.00
Al2O3	7.07	Al2O3	1.85	Al2O3	0.00
Cr2O3	3.32	Cr2O3	2.19	Cr2O3	0.00
Fe2O3	38.13	Fe2O3	44.80	Fe2O3	54.78
MnO	0.68	MnO	0.23	MnO	0.34
MgO	0.45	MgO	0.31	MgO	0.00
CaO	42.80	CaO	42.79	CaO	40.64
Na2O	0.00	Na2O	0.00	Na2O	0.00
K2O	0.07	K2O	0.00	K2O	0.08
P2O5	0.14	P2O5	0.30	P2O5	0.15
F	0.00	F	0.00	F	0.00
Cl	0.06	Cl	0.03	Cl	0.00
NiO	0.00	NiO	0.00	NiO	0.00
V2O5	1.32	Cu	0.24	Cu	0.00
Ce2O3	0.96	V2O5	1.87	V2O5	0.00
Ta2O5	0.32	Ta2O5	0.00	Ta2O5	0.95
Nb	0.38	Nb2O5	0.80	Nb2O5	0.19
---	---	---	---	---	---
	99.50 %		98.57 %		97.23 %

Tabelle A2 und A3: Chemische Zusammensetzung von Calciumferrit (dunkle Phase, siehe Abb. A11 und A17)

Tabelle A4: Zusammensetzung von Calciumferrit (helle Phase, siehe Abb. A11 und A17)

Bodenprobe, N Treibach-Althofen

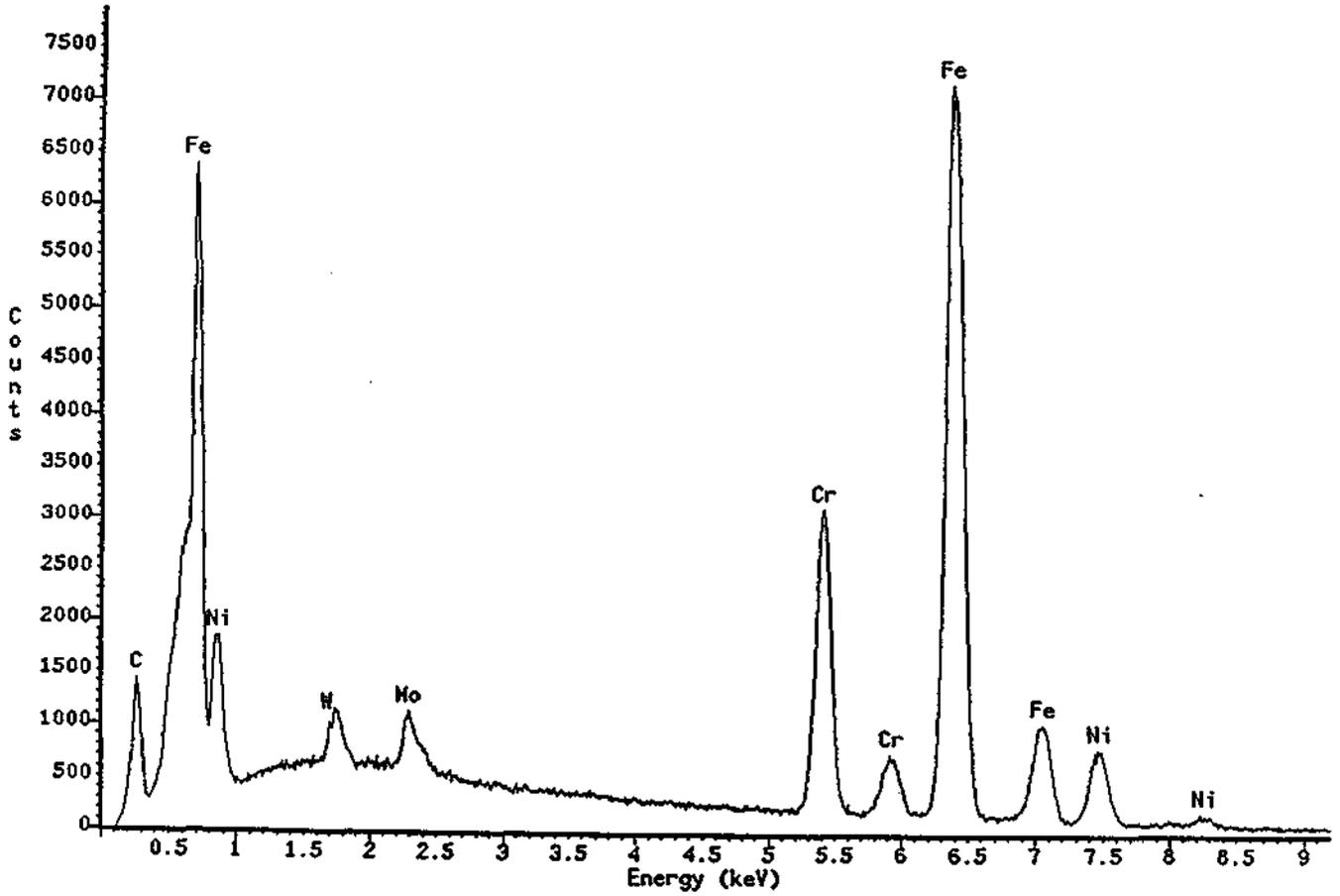


Abb. A9: Elementspektrum von Ferro-Chromnickellegierung als Beispiel für Ferrolegierung-erzeugende Industrie im Gebiet Krappfeld. Auflage-Horizont, Wald NW Treibach-Althofen

Element	Wt %
Si	0.00
Cr	16.34
Mn	1.98
Fe	65.58
Ni	10.63
Mo	2.55
W	2.01

Tabelle A5: Chemische Zusammensetzung von Ferro-Chromnickellegierung

Mikrosondenanalytik

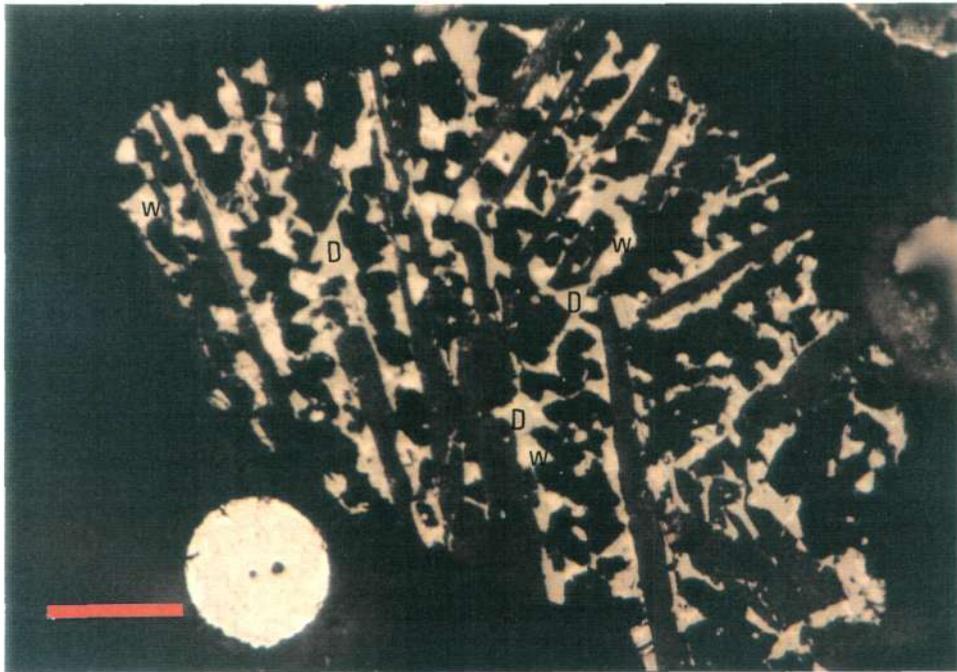


Abb. A10: Stengelig ausgebildete Apatitkristalle (vanadiumhaltig) in einer Matrix aus Dicalciumferrit (D) und Mn-Wüstit (W), siehe auch Abb. A16.
Unten links im Bild ein globulares Staubpartikel, bestehend aus Magnetit, welcher randlich durch Hämatit verdrängt wird.
Polierter Anschliff
Ölimmersion
Bodenprobe, SE Voitsberg
Marke = 0.05 mm

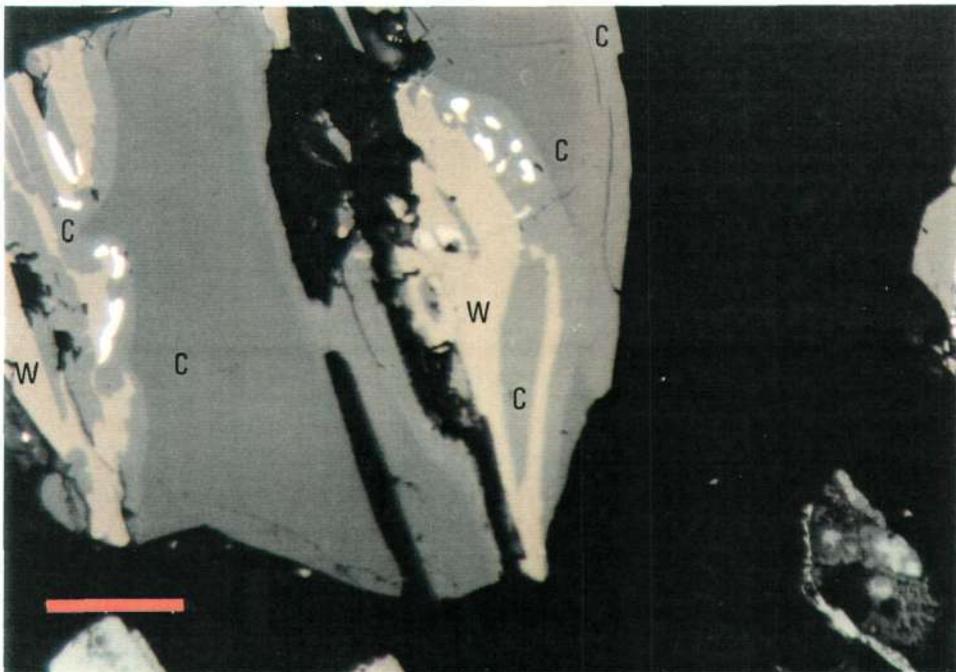


Abb. A11: Verwachsung von Calciumferritmischphasen (C) mit RO-Phase (Wüstite, W), met. Eisen (weiß) und Glasphase (schwarz). Al-reicher Calciumferrit (dunkel) zeigt häufig einen beträchtlichen Gehalt an Cr, V sowie Spuren von Ce, Nb und Ta auf (siehe auch Abb. A17).
Polierter Anschliff
Ölimmersion
Bodenprobe, N Treibach
Marke = 0.05 mm

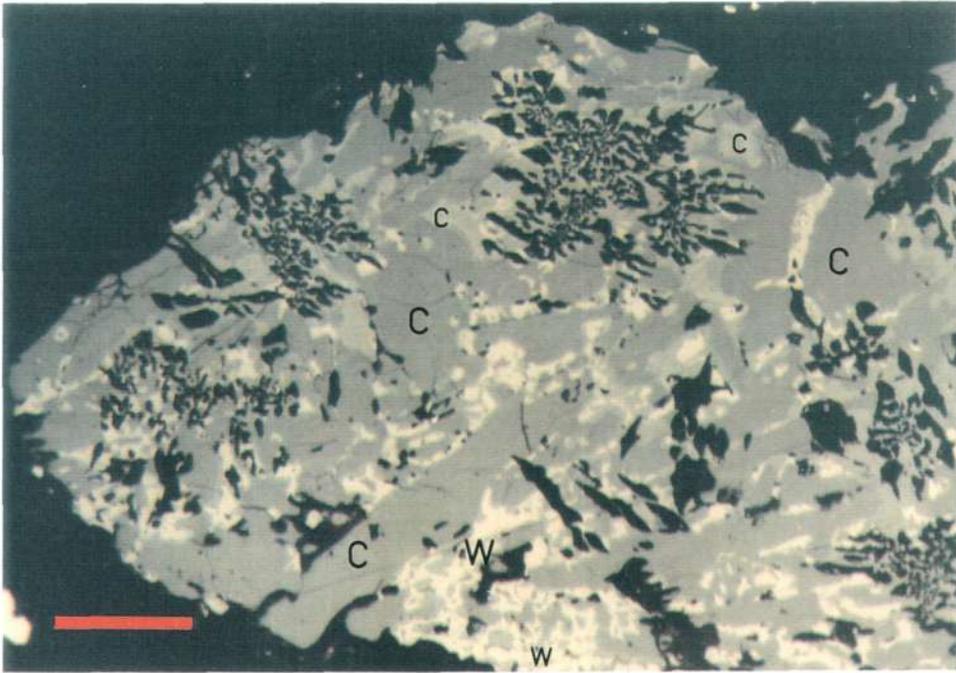


Abb. A12: Schlacke, bestehend aus Calciumferritmischkristallen (C), (Ca,P)-Silikaten (schwarze Einschlüsse) und RO-Phase (Wüstit, W).

Polierter Anschliff

Ölimmersion

Schwermineralkonzentrat

Marke = 0.05 mm

Vordernbergerbach/Donawitz



Abb. A13: Schlacke mit dendritischem Wüstit (W), Magnetit (M), zonar gebauten Spinellkristallen (S), Magnetkies (weiße Einschlüsse) und Glasphase (schwarz).

Polierter Anschliff

Ölimmersion

SM-Konzentrat

Marke = 0.05 mm

Vordernbergerbach/Friedauwerk

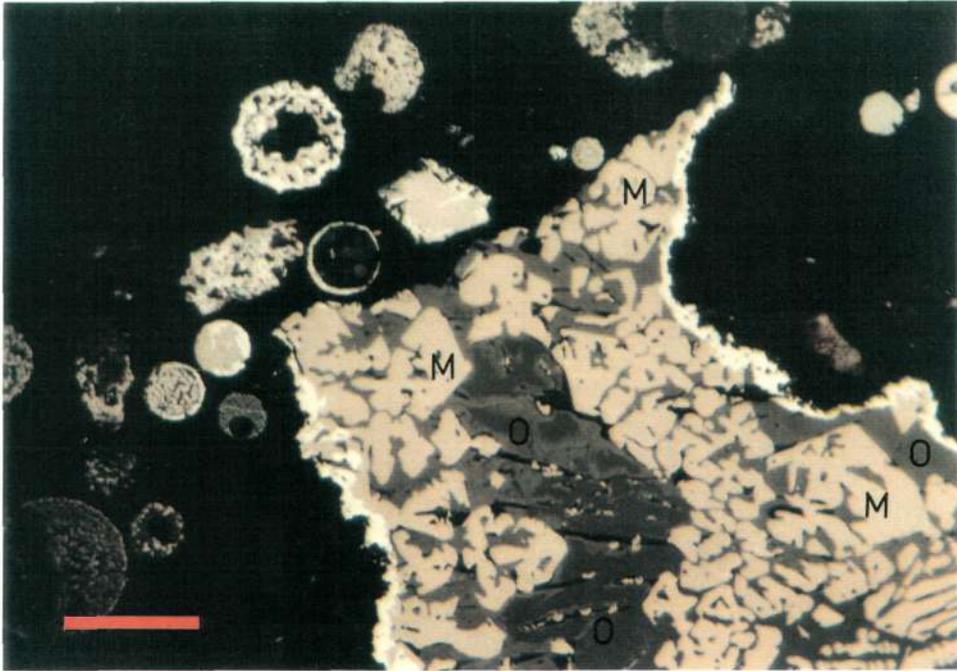


Abb. A14: Globulare Staubpartikel (z.T. hohlkugelig) aus Magnetit, Wüstit, Spinell und Glasphase. Rechts im Bild ein Schlackenkorn, bestehend aus Olivinkristallen (O) mit Verwitterungserscheinungen, skelettförmige Magnetitkristalle (M) und Glasphase (schwarz).
Polierter Anschliff
Ölimmersion
Auflage-Horizont, Wald E Voitsberg
Marke = 0.05 mm

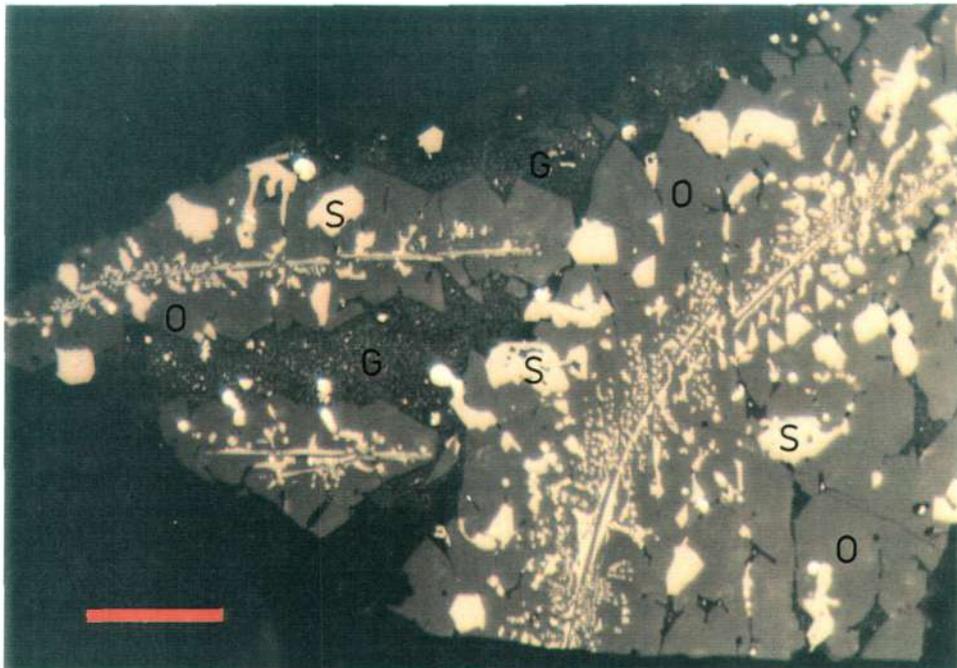


Abb. A15: Schlackenpartikel, bestehend aus Olivinkristallen (O), Spinellkristallen (S), Glasphase (G) und tropfenförmigen Einschlüssen von (Pb, Fe, Cu)-Sulfosalzen (weiß). Diese Partikel sind typisch für Verhüttungsprozesse zur Goldgewinnung aus Au-Sulfidmineralisationen.
Polierter Anschliff
Ölimmersion
Schwermineralkonzentrat
Gasteiner Ache
Marke = 0.05 mm

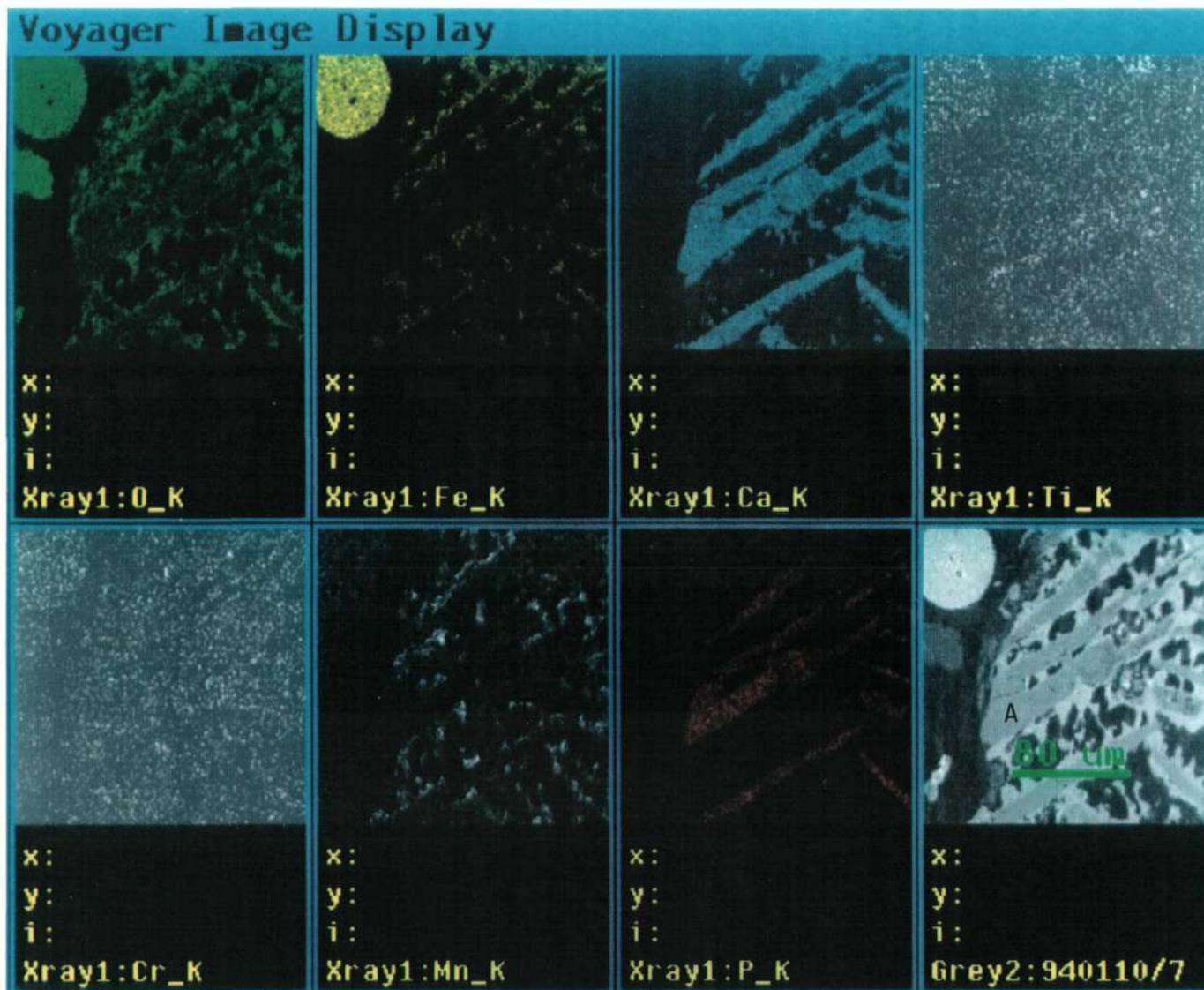


Abb. A16: Elementverteilungsbilder von O, Fe, Ca, Ti, Cr, Mn und P in Apatit (A), Calciumferrit und Wüstit (Matrix) sowie ein globulares Magnetitkorn. Unten rechts Abbildung mittels rückgestreuter Elektronen (siehe auch Abb. A10). Bodenprobe, SE Voitsberg Vergrößerung etwa 500 x

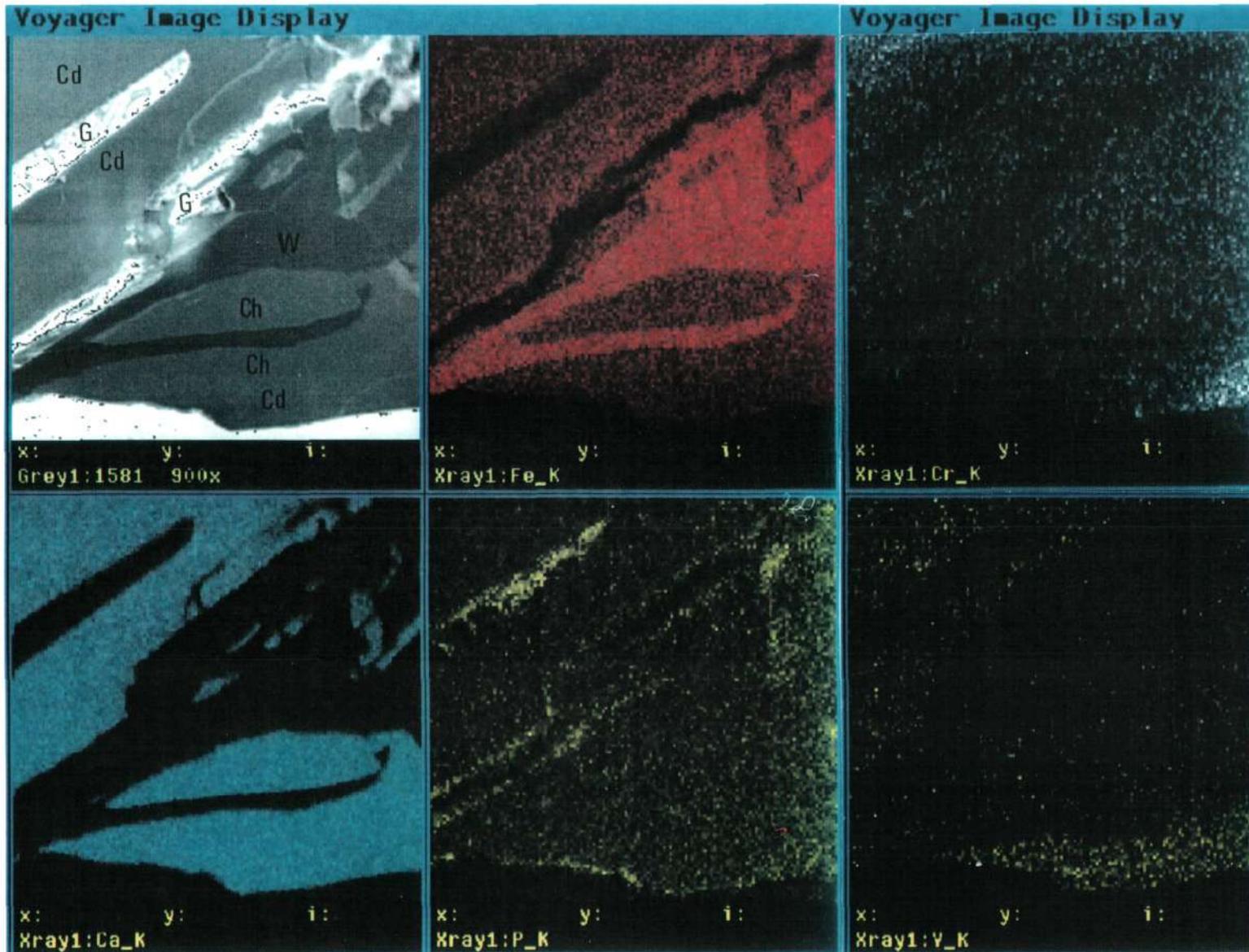


Abb. A17: Elementverteilungsbilder von Fe, Cr, Ca, P und V in hellen (Ch) und dunklen (Cd) Calcium-ferritphasen, Wüstit (W) und Glasphase (G), siehe auch Abb. A11. Oben links Oberflächenabbildung mittels sekundärer Elektronen. Vergrößerung 800x Bodenprobe, N Treibach-Althofen