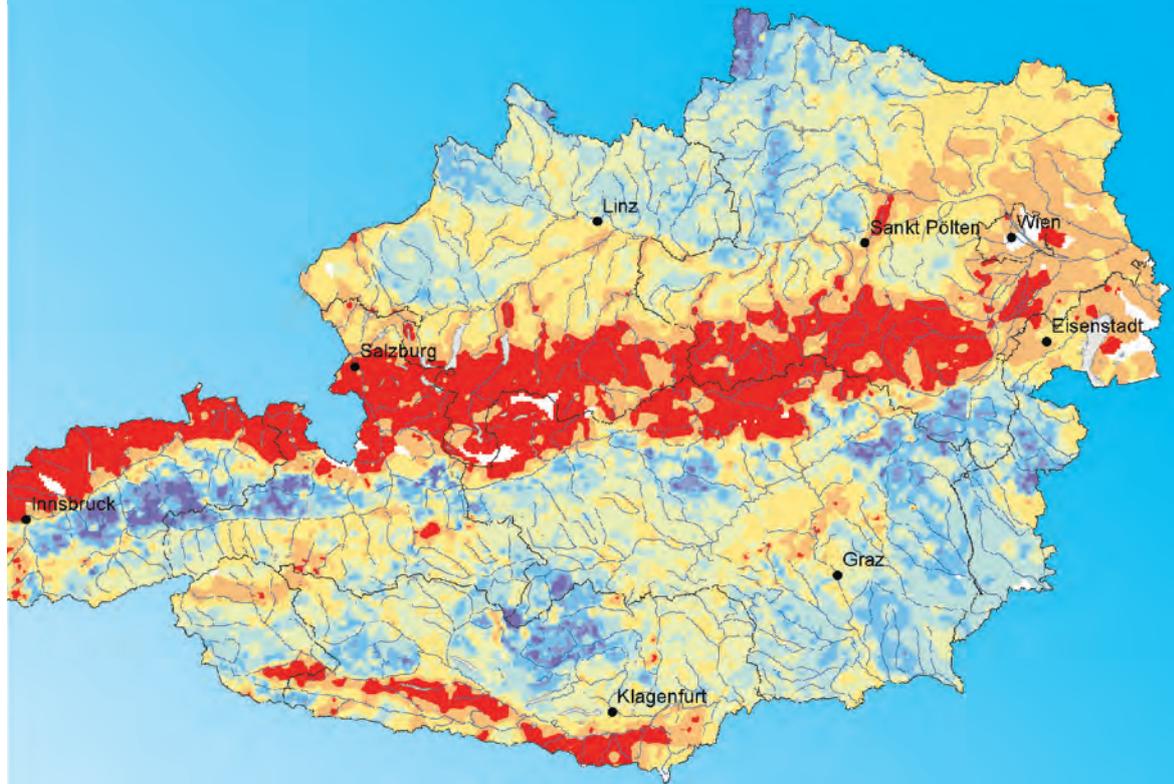


GEOCHEMISCHER ATLAS VON ÖSTERREICH – BUNDESWEITE
BACH- UND FLUSSEDDIMENTGEOCHEMIE (1978–2010)

H. PIRKL,
A. SCHEDL &
S. PFELEIDERER
(Hrsg.)

ARCHIV FÜR LAGERSTÄTTEN FORSCHUNG

BAND 28
2015



Geologische Bundesanstalt

GEOCHEMISCHER ATLAS VON ÖSTERREICH – BUNDESWEITE BACH- UND
FLUSSEDIMENTGEOCHEMIE (1978–2010)



ARCHIV FÜR LAGERSTÄTTEN FORSCHUNG

2015
BAND 28

HERBERT PIRKL, ALBERT SCHEDL & SEBASTIAN PFLEIDERER (Hrsg.)
mit Beiträgen von HASSAN NEINANVEIE, HEINZ REITNER, PETER KLEIN,
GERHARD HOBIGER, PETER FILZMOSE, PIOTR LIPIARSKI & MANFRED LINNER

Geologische Bundesanstalt

ARCHIV FÜR LAGERSTÄTTENFORSCHUNG, BAND 28
ISSN: 0253-097X
ISBN: 978-3-85316-084-8

Zitiervorschlag

Gesamtwerk:

PIRKL, H., SCHEDL, A. & PFLEIDERER, S. (Hrsg.) (2015): Geochemischer Atlas von Österreich – Bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie (1978–2010). – Archiv für Lagerstättenforschung, 28, 288 S., Wien.

Kapitel:

PIRKL, H., KLEIN, P. & HOBIGER, G. (2015): Arbeitsmethodik und Teilprojekte. – In: PIRKL, H., SCHEDL, A. & PFLEIDERER S. (Hrsg.): Geochemischer Atlas von Österreich – Bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie (1978–2010). – Archiv für Lagerstättenforschung, 28, 15–26., Wien.

197 Abbildungen, 28 Tabellen

Umschlagbild

Ausschnitt aus Abbildung 40 (Seite 59) – Kalziumverteilung in Bachsedimenten < 0,18 mm

Digitales Geländemodell (DGM) Österreich

Das in den Abbildungen 7, 8, 168 und 177 verwendete digitale Geländemodell beruht auf Airborne Laserscan Daten im Raster von 10 m x 10 m.

CC-BY-3.0: Land Kärnten – data.ktn.gv.at

Anschriften der Autoren:

Herbert PIRKL
Plenergasse 5, 1180 Wien
Herbert.Pirkl@a1.net

Albert SCHEDL
Geologische Bundesanstalt
Neulinggasse 38, 1030 Wien
albert.schedl@geologie.ac.at

Sebastian PFLEIDERER
Geologische Bundesanstalt
Neulinggasse 38, 1030 Wien
sebastian.pfleiderer@geologie.ac.at

Hassan NEINAVAE
Rennfeld 28/2, 6370 Kitzbühel
neinavaie@a1.net

Heinz REITNER
Geologische Bundesanstalt
Neulinggasse 38, 1030 Wien
heinz.reitner@geologie.ac.at

Peter KLEIN
Krottenbachstraße 122, Stg. 1, 1190 Wien
peter.klein4@chello.at

Gerhard HOBIGER
Geologische Bundesanstalt
Neulinggasse 38, 1030 Wien
gerhard.hobiger@geologie.ac.at

Peter FILZMOSER
Computational Statistics (CSTAT)
Institut für Stochastik und Wirtschaftsmathematik
Technische Universität Wien
Wiedner Hauptstraße 8–10, 1040 Wien
peter.filzmoser@tuwien.ac.at

Piotr LIPIARSKI
Geologische Bundesanstalt
Neulinggasse 38, 1030 Wien
piotr.lipiarski@geologie.ac.at

Manfred LINNER
Geologische Bundesanstalt
Neulinggasse 38, 1030 Wien
manfred.linner@geologie.ac.at

Alle Rechte für In- und Ausland vorbehalten.
Verlag: Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

Redaktion: Christoph Janda (Geologische Bundesanstalt)
Lektorat: Christian Cermak (Geologische Bundesanstalt)
Cover: Monika Brüggemann-Ledolter (Geologische Bundesanstalt)

Verlagsort: Wien

Ziel des „Archiv für Lagerstättenforschung“ ist die Dokumentation und Verbreitung erdwissenschaftlicher Forschungsergebnisse.
Satz, Gestaltung und Druckvorbereitung: Jarmila Böhm
Druck: Paul Gerin GmbH & Co KG, A 2120 Wolkersdorf.



Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Einleitung (H. PIRKL & A. SCHEDL)	7
1.1 Vorgeschichte und Ziele des Programms	7
1.2 Programm im Umfeld angewandt-geowissenschaftlicher Forschung in Österreich	7
1.3 Programm im europäischen Umfeld	8
2 Programmstruktur (H. PIRKL)	10
2.1 Organisation, Teams, Finanzierung	10
2.2 Zeitlicher Ablauf	12
3 Arbeitsmethodik und Teilprojekte (H. PIRKL, P. KLEIN & G. HOBIGER)	15
3.1 Programmteil Böhmisches Massiv und Zentralzone / Bachsedimente < 0,18 mm	15
3.2 Programmteil Bundesländerprojekte	22
4 Programmübergreifende Erfahrungen (H. PIRKL)	27
4.1 Interne und externe Kontrolle	27
4.2 Erfahrungen zur strukturellen und technischen Planung	34
5 Ergebnisdarstellung und -diskussion nach Einzelementen (H. PIRKL, S. PFLEIDERER, A. SCHEDL, H. REITNER & H. NEINAVAIE)	36
Ag – Silber	39
Al – Aluminium	42
As – Arsen	46
Ba – Barium	50
Be – Beryllium	54
Ca – Kalzium	58
Cd – Cadmium	62
Ce – Cer	64
Cl – Chlor	68
Co – Cobalt	72
Cr – Chrom	76
Cu – Kupfer	80
F – Fluor	84
Fe – Eisen	88
Ga – Gallium	92
Hg – Quecksilber	96
K – Kalium	100
La – Lanthan	104
Li – Lithium	108
Mg – Magnesium	112
Mn – Mangan	116
Mo – Molybdän	120
Na – Natrium	124
Nb – Niob	128
Ni – Nickel	132
P – Phosphor	136
Pb – Blei	140
Rb – Rubidium	144
S – Schwefel	148
Sb – Antimon	152
Sc – Scandium	154

Se – Selen	158
Si – Silicium	162
Sn – Zinn	166
Sr – Strontium	170
Th – Thorium	174
Ti – Titan	178
U – Uran	182
V – Vanadium	184
W – Wolfram	188
Y – Yttrium	190
Zn – Zink	194
Zr – Zirkonium	198
6 Ergebnisdiskussion begleitender Mess- und Analytikdaten (H. PIRKL)	202
7 Begleitende Forschung sowie Auswertungs- und Interpretationsbeispiele	206
7.1 Abschätzung gesteinsgeochemischer Elementgehalte und Ableitung geogener Hintergrundwerte anhand von Bachsedimentgeochemie-Daten (S. PFLEIDERER)	206
7.2 Die Auswertung geochemischer Analysen von Bachsedimenten mit statistischen Methoden für Kompositionsdaten am Beispiel des Weinsberger Granits (H. REITNER, P. FILZMOSE, M. LINNER & H. PIRKL)	213
7.3 Erarbeitung von Stoffflussmodellen mit Hilfe geochemischer Daten unterschiedlicher Medien (H. PIRKL & P. LIPIARSKI)	218
7.4 Vergleiche regionaler Element-Verteilungsmuster an Böden und Bachsedimenten (H. PIRKL)	226
7.5 Erweiterung geochemischer Detailinformationen durch mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen (Mineralphasenanalytik) (A. SCHEDL & H. NEINAVAIE)	235
8 Extended Summary (S. PFLEIDERER)	243
9 Literaturverzeichnis	253
9.1 Verwendete Literatur	253
9.2 Gesamtbibliografie zur geochemischen Literatur und Forschung in Österreich (A. SCHEDL)	258

Zusammenfassung

Geochemische Daten charakterisieren die Qualität des Lebensumfeldes des Menschen – die Nährstoff-, Spurenelement- und Schadstoffverteilungen in Gesteinen, Böden sowie Oberflächen- und Grundwässern. An der Erdoberfläche anstehende Gesteine, einschließlich der in ihnen enthaltenen Mineralisationen, unterliegen in Abhängigkeit von Klima, Morphologie und Vegetation unterschiedlichen Verwitterungseinflüssen. Die Sedimente der Bäche und Flüsse spiegeln den Gesteinsaufbau, aber auch Mineralisationen/Vererzungen des jeweiligen Einzugsgebiets und deren geochemische Charakteristik wider, sind daneben aber auch ein Indikator für anthropogene, vom Menschen verursachte Beeinflussungen in den Kulturlandschaften.

In der Mineralrohstoffprospektion wird die geochemische Untersuchung des Stoffbestandes von Bachsedimenten zur Suche unbekannter Mineralisationen/Lagerstätten bereits seit längerer Zeit genutzt, wobei hier die Untersuchung der schluffigen/sandigen Kornfraktion im Vordergrund steht. Im Feinanteil (Tonfraktion) von Fluss- und Bachsedimenten werden hingegen gelöste Stoffe aus dem fließenden Wasser adsorbiert und gespeichert. Verunreinigungen, die über Abwässer in das Gewässersystem eingetragen werden, können durch chemische Wasseranalysen der fließenden Welle nach kurzer Zeit nicht mehr nachgewiesen werden. Sedimente hingegen wirken als integrierendes Langzeitgedächtnis und behalten die an- bzw. abgelagerten Schadstoffe. Als Indikator für Umweltfragestellungen gewinnt daher die geochemische Untersuchung der Feinfraktion in Fluss- und Bachsedimenten in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung.

Die geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes mittels Bachsediment-Multielementanalytik wurde in Österreich 1978 durch eine Arbeitsgruppe bestehend aus Geologischer Bundesanstalt, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal und VOEST-ALPINE gestartet und in einer ersten Phase durch die Herausgabe des „Geochemischen Atlas der Republik Österreich“ im Jahr 1989 abgeschlossen. Wegen der primär rohstoffwirtschaftlichen Zielsetzungen dieses Forschungsprogramms konzentrierten sich diese Untersuchungen vor allem auf den Bereich der Böhmisches Masse und der Zentralzone (48 % der Gesamtfläche des Bundesgebietes).

In den Jahren 1991 bis 2010 wurden im Rahmen der Bund-Bundesländer Kooperation mit veränderter Probenichte und erweitertem Elementspektrum die Beprobungslücken in Bundesländerprojekten (Alpenvorland, Nördliche Kalkalpen, Flysch und Helvetikum, inneralpine Becken, alpine Randbecken, Drauzug, Karnische Alpen, Karawanken) geschlossen. Für den Bereich der Stadt Wien wurde ein modifiziertes Stadtgeochemie-Ergänzungsprogramm durchgeführt.

Insgesamt umfasst die flächendeckende Bachsedimentgeochemie (Fraktion < 0,18 mm) fast 34.400 Einzelproben mit Multielementanalytik (35 bzw. 43 Elemente). Im Erweiterungsprogramm liegt für die Bundesländer Niederösterreich, Vorarlberg, Kärnten Burgenland, Steiermark und Wien zusätzlich auch Multielementanalytik der Kornfraktion < 0,04 mm vor, die als indikativ für umweltrelevante Fragestellungen angesehen wird.

Im Hinblick auf den langen Untersuchungszeitraum (32 Jahre) der bundesweiten Bachsedimentgeochemie war es ein wichtiges Anliegen der vorliegenden Gesamtdokumentation, einleitend vorweg auch einen umfassenden Gesamtüberblick über die Konzeption, die komplexen und unterschiedlichen Rahmenbedingungen bei der Probenahme und Analytik sowie über die Weiterentwicklung bei der Auswertung und Ergebnisdarstellung im Verlauf des Gesamtprogramms zu bieten. Diese begleitenden Informationen tragen ganz wesentlich zu einem besseren Verständnis der Untersuchungsergebnisse bei.

Vorrangige Zielsetzung der vorliegenden Gesamtdokumentation der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie ist eine umfassende Darstellung der Untersuchungsergebnisse in einem neuverrechneten geochemischen Atlas, der für 31 Elemente (Al, As, Ba, Be, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn, Zr) in flächenverrechneten Karten einen Überblick über die räumliche Verteilung von Haupt- und Spurenelementen im gesamten Bundesgebiet bietet. Für die neu in das Untersuchungsprogramm übernommenen Elemente (Cl, F, Hg, Li, S, Se, Si) liegen hingegen nur Karten aus den bearbeiteten Teilbereichen des Bundesgebietes vor. Bei vier Atlas-Elementen (Ag, Sb, U, W) wurde nach nochmaliger Datenanalyse (Analysenwerte größtenteils unter der Nachweisgrenze, keine stabile, plausible Verteilungen, offensichtliche Analysenprobleme bei einzelnen Bundesländerprojekten) auf eine Gesamtdarstellung verzichtet.

Die Ergebnisdarstellung und Diskussion derselben umfasst neben der Kartendarstellung eine allgemeine Kurzinformation zu jedem Element (geogene/technogene Herkunft, wichtigste Mineralphasen, Verhalten in der Umwelt) sowie eine Kurzcharakteristik der Untersuchungsergebnisse.

Die Daten der bundesweiten Bachsedimentgeochemie ermöglichen einen umfassenden Überblick über die Elementgehalte und die räumliche Verteilung der untersuchten Elemente. Die Verteilungsmuster bei den meisten Elementen spiegeln sehr gut den komplexen geologisch-lithologischen Aufbau in den Ostalpen wider. Räumlich schwankende natürliche (geogene) Hintergrundgehalte sind dabei ebenso zu erkennen wie Regionen mit erhöhten bis anomalen Werten. Elementanomalien können einerseits geogene Ursachen haben und korrelieren dabei häufig mit (bekannten) lagerstättenhöflichen Zonen. Anomalien finden sich aber auch im Umfeld der Siedlungsräume bzw. Industriegebiete und haben damit vorwiegend technogene bedingte Ursachen.

Mit der Veränderung der Schwerpunktsetzung sind die Programminhalte in den letzten Jahrzehnten weit über die Mineralrohstoff-Forschung hinausgewachsen und beziehen sich mittlerweile auf große Bereiche der Umweltforschung und Umweltbewertung. So werden geochemische Daten und Karten bereits verstärkt für die Abklärung der Quellen von Spurenelementen (z.B. Schwermetallen) und ihrer Herkunft (geogen oder technogen), für die Definition von Hintergrundwerteverteilungen als Vergleichsdaten für Monitoringprogramme, Grenz- und Richtwertdiskussionen sowie für zahlreiche Detailfragen bei Umweltzustandsbewertungen und Risikoanalysen eingesetzt.

Neben der Hauptdokumentation der Gesamtergebnisse der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie werden in fünf ausgewählten Teilkapiteln auch Auswertungs- und Interpretationsbeispiele aus der begleitenden Forschung vorgestellt. Ein Kapitel widmet sich dem methodischen Zugang zur Ableitung geogener Grundgehalte anhand ausgewählter Auswertbeispiele. Aufgrund der rasanten methodischen Weiterentwicklung statistischer Verfahren seit der Erstellung des ersten Geochemischen Atlas (1989) wurden Teildatensätze teilweise auch mit statistisch robusten Verfahren neu verrechnet. Die Möglichkeit der Erarbeitung von Stoffflussmodellen anhand geochemischer Daten wird anhand von regionalen Anwendungsbeispielen methodisch und interpretationsmäßig vorgestellt. Der Vergleich regionaler Elementverteilungsmuster in unterschiedlichen bundesweiten Monitoringprogrammen wird an ausgewählten Vergleichen der Bach- und Flusssedimentgeochemie mit der Bodenzustandsinventur (BZI) in Kärnten und der Steiermark gezeigt. Zur Trennung geogener von technogener Spuren- und Schwermetallverteilungen sowie zur Beurteilung des Einflusses technogener Prozesse in der Landschaft (Emissions-Immissions-Pfade) wurden in den letzten 15 Jahren als begleitende Untersuchungsmethode auch gezielte Beprobungen von Schwermineralen für mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen durchgeführt, die sehr präzise die Ursachen von geochemischen Anomalien feststellen lassen und in der

Gesamtdokumentation in einem gesonderten Kapitel beispielhaft vorgestellt werden.

Zur Dokumentation der vielfältigen geochemischen Forschungsaktivitäten der letzten 45 Jahre in Österreich wird schließlich in einem gesonderten Kapitel eine umfassende Gesamtbibliografie dieses spezifischen Forschungsbereichs dargelegt.

Mit der Herausgabe der Gesamtdokumentation zur bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie liegen nun erstmals flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet Informationen über die regionale Verteilung von Haupt- und Spurenelementen in Bach- und Flusssedimenten vor. Diese Ergebnisse widerspiegeln einerseits geogene bedingte Verteilungsmuster, andererseits auch anthropogen bedingte Schadstoffbelastungen. Aufgrund des hohen Flächendeckungsgrades, der hohen Probenahmedichte und der Multielementanalytik sind die Ergebnisse der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie für verschiedene umweltrelevante Fragestellungen und Monitoringprogramme in Österreich als ergänzende Interpretationshilfen von großem Interesse. Die gezielte Aufbereitung und Interpretation dieser geochemischen Daten für diese neuen Anwendungsbereiche wird sicher zentraler Teil der Nachnutzung der bundesweiten Bach- und Flusssedimentgeochemie in den kommenden Jahren sein.

1 Einleitung

(HERBERT PIRKL & ALBERT SCHEDL)

1.1 Vorgeschichte und Ziele des Programms

Die Geschichte des Programms beginnt im Jahr 1973. Die Erdöl exportierenden Länder – organisiert als OPEC – versuchten den überraschenden Angriff von Ägypten und Syrien auf Israel im Oktober 1973 (Jom-Kippur-Krieg) durch eine Verknappung der Erdölförderung zu unterstützen, um Druck auf die westlichen Staaten auszuüben. Die dadurch ausgelösten Energiepreiserhöhungen zeigten insbesondere den europäischen Staaten klar ihre starke Abhängigkeit bei Energie- und Mineralrohstoffen auf. Viele europäische Staaten (so auch Österreich) reagierten neben gezielten Sparmaßnahmen, wie z.B. dem „autofreien Tag“, auch mit einer politischen und fachlichen Diskussion bezüglich der Ressourcen- und Rohstoffsicherung, sowie mit einer Rückbesinnung auf die eigene Rohstoffbasis.

Schon vorher – im Jahr 1972 – machte der Club of Rome mit seiner ersten Veröffentlichung „Die Grenzen des Wachstums“ auf die Begrenztheit der Ressourcen auf dieser Erde aufmerksam!

Das führte in Österreich zuerst zu Konzeptdiskussionen, dann jedoch auch zu konkreter Maßnahmenplanung (BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG, 1973). Als Folge dieser Erkenntnisse und des politischen Drucks von außen wurde von der Österreichischen Bundesregierung mit Regierungserklärung vom 5. November 1975 festgelegt, dass ein Konzept für die Versorgung Österreichs mit mineralischen Roh- und Grundstoffen ausgearbeitet werden soll (BUNDESMINISTERIUM FÜR HANDEL, GEWERBE UND INDUSTRIE, 1981; BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG, 1981).

Die entsprechenden Vorarbeiten mündeten im Jahr 1977 in eine politische und administrative Konkretisierung der Planung:

- Entwicklung konkreter Planungsansätze einer klassischen Rohstoffsuche mit dem Ziel, bekannte Rohstoffvorkommen und ehemalige Bergbauareale neu zu bewerten.
- Planung des Einsatzes moderner Mess- und Analytik-Methoden insbesondere in Geophysik und Geochemie – flächendeckende aeromagnetische Vermessung; Aufbau Hubschrauber-geophysik; Geochemische Landesaufnahme.
- Stärkung und Neuentwicklung finanzieller und administrativer Instrumente – Aufbau des Instruments der Bund-/Bundesländerkooperation für Rohstoff- und Energieforschung; finanzielle Dotierung des Vollzugs des Lagerstättengesetzes; finanzielle Verstärkung der Bergbauförderung als Instrument der betriebsbezogenen Rohstoffprospektion und -exploration.

Das Programm der Bach- und Flusssedimentgeochemie war und ist ein Baustein der Geochemischen Landesaufnahme und somit des geowissenschaftlichen Gesamtprogramms in Österreich. Primäres Ziel war es, damit eine Basis für eine moderne Metallrohstoffprospektion zu schaffen. Schon im Jahr 1978 wurde die Finanzierung für die ersten Teilprojekte gesichert und damit die Beprobungsphase gestartet.

Bereits in der Planungs- und Startphase gab es fachliche Überlegungen, die im Zuge des Programms erzielten Analysendaten später auch für umweltgeochemische Fragestellungen aufzubereiten.

1.2 Programm im Umfeld angewandt-geowissenschaftlicher Forschung in Österreich

Der Start des Programms der systematischen Bach- und Flusssedimentgeochemie wurde in Österreich durch drei Randbedingungen erst ermöglicht und begünstigt:

- a. Die in der Mitte der 1970er Jahre initiierte Reorganisation der Geologischen Bundesanstalt führte zu einem modern strukturierten Geologischen Dienst, der damit in die Lage versetzt wurde, als Trägerorganisation die fachliche Koordination von Großprogrammen zu übernehmen.
- b. Parallel zum Ausbau des Geologischen Dienstes wurde auch die Kapazität anorganischer Großserienanalytik für Österreich erweitert. Dies geschah durch den entsprechenden Ausbau des Geotechnischen Instituts im Forschungszentrum Arsenal.
- c. Im Bergbau tätige Firmen (wie die Bleiberger-Bergwerksunion oder die VOEST-Alpine) besaßen auch potente Prospektionsabteilungen, deren fachliche und personelle Kapazitäten in die Programme integriert werden konnten.

Der Programmzeitraum im 20. Jahrhundert war auch eine Zeit der rasanten Entwicklung einerseits der Geräte für die geowissenschaftliche Analytik und andererseits der Hard- und Software in der Datenverarbeitung. Freilich wurde der PC am Schreibtisch jedes Geowissenschaftlers erst in den 1990er Jahren zur Selbstverständlichkeit. Damit waren erst die Möglichkeiten einer flexiblen Datenkontrolle, -auswertung und -interpretation gegeben. Innerhalb des gesamten Programmzeitraumes wurde somit der Bogen gespannt von händisch-analoger Auswertung, unterstützt nur durch einfach programmierbare Taschenrechner, bis zur multivariaten Geostatistik von sehr großen Datenmengen am PC innerhalb von Sekunden.

Im Zuge der intensivierten Rohstoffforschung stand nicht nur Metallprospektion im Vordergrund, sondern auch die Suche nach Industriemineralrohstoffen oder die Bewertung von Baurohstoffvorkommen. Damit stellten sich Fragen nach der erweiterten Umsetzbarkeit geochemischer Daten sowie der Notwendigkeit, verschiedene Arbeitsmethoden zu integrieren und zu bündeln. Schon während der laufenden Beprobungen und Analytik der Bach- und Flusssedimente wurde in begleitenden Projekten auch ein Mix verschiedener Probedienste (Gesteine, Schwerminerale, Böden, Wässer) zur Kontrolle und Ergänzung eingesetzt. Auch eine mögliche Pflanzenverfügbarkeit einzelner Schwermetalle wurde durch Analytik von Pflanzen und Pflanzenteilen getestet. Im Umkehrschluss wurde damit auch versucht, bestimmte Pflanzenarten zur Prospektion zu verwenden. Die dafür notwendige Intensivierung fach-

übergreifender Zusammenarbeit führte in weiterer Folge zu teils unkonventionellem Methodeneinsatz und zu zahlreichen fachlichen Impulsen für unterschiedliche geowissenschaftliche Fachbereiche. Herauszuheben ist dabei die Weiterentwicklung mineralogisch-mikrochemischer Phasenanalytik, der eine zentrale Rolle bei der Beschreibung geochemischer Systeme und Prozesse zukommt sowie bei der Unterscheidung geogen bestimmter Situationen von technologischen Einflüssen. Die Umsetzung geochemischer Analysen in einer umweltgeochemischen Bewertung ist ohne diese mineralogisch-mikrochemische Phasenanalytik kaum möglich.

In den letzten Jahren wurden die Ergebnisse der Bachsedimentgeochemie als Teilmedium zur Beschreibung von Stoffflüssen in Altbergbaugebieten herangezogen.

1.3 Programm im europäischen Umfeld

Ab dem Beginn der 1970er Jahre wurden von den meisten Geologischen Diensten in Europa flächendeckende geochemische Kartierungsprogramme vor allem im Hinblick auf die Suche nach Erzlagerstätten durchgeführt. Diese Programme basieren teilweise auf sehr unterschiedlichen Untersuchungsmethoden, was eine grenzüberschreitende Zusammenführung und vergleichende Auswertung dieser geochemischen Daten in einem gesamteuropäischen Kontext unmöglich macht. Das „Forum of European Geological Surveys“ (FOREGS) hat diese Aktivitäten in einer späteren Zusammenschau aller geochemischen Kartierungsprogramme in 33 Mitgliedstaaten nochmals im Detail analysiert (PLANT et al., 1996). Bezogen auf die Gesamtuntersuchungsfläche verteilen sich die verwendeten Probenmedien dabei vor allem auf Bachsedimente (28 %), Böden/Till (21 %), Oberflächenwässer (16 %) und Schwerminerale (12 %). Die Probedichte variiert je nach verwendeten Probenmedien zum Teil sehr stark. 81 % der Geologischen Dienste benutzten in ihren Untersuchungsprogrammen Probedichten von \leq eine Probe pro 100 km². Eine höhere Probedichte als in Österreich wurde bei den Bachsedimentbeprobungen in Frankreich, Spanien, Portugal, Italien und Griechenland verwendet (eine Probe pro 0,5 km²). Hinsichtlich Korngröße wurden bei den Bachsedimenten vor allem Korngrößen zwischen 177 und 200 μ m beprobt. Das Sieben der Proben wurde ebenfalls in sehr unterschiedlicher Weise gehandhabt. Die unterschiedlichen Beprobungstechniken umfassten Nass- oder Trockensiebung im Gelände oder im Labor. Die angewandten Aufbereitungs- und Analysetechniken widerspiegeln im Wesentlichen auch die zeitlich variablen Technologiestandards bei diesen Untersuchungen. Die Multielementanalytik basiert vorwiegend auf RFA, ICP-AES, ICP-MS, AAS und NAA. Der Elementumfang der Untersuchungsprogramme reflektiert dabei vor allem die eingesetzte Analyseverfahren und nicht so sehr kosten-, prospektions- oder umweltrelevante Vorgaben. Bei den eingesetzten Aufschlussverfahren gibt es sowohl Vollaufschluss, als auch die vor allem in der geochemischen Prospektion eingesetzten Teilauszugsverfahren.

Mit der zunehmenden Bedeutung neuer transnationaler Fragestellungen auf europäischer Ebene gewannen ab Ende der 1980er Jahre standardisierte Untersuchungsprogramme im kontinentalen Maßstab zunehmend an Bedeu-

tung. Das 1988 gestartete IGCP 259-Projekt „International Geochemical Mapping“ war daher vor allem auf den steigenden Bedarf weltweit verfügbarer, standardisierter geochemischer Daten ausgerichtet. Im Projektabschlussbericht wurden erstmals auch Empfehlungen für Standardisierung geochemischer Kartierungsprogramme und für die Herstellung globaler geochemischer Kartenwerke gegeben, die im Wesentlichen auf einer weitmaschigen Beprobung im „Global Reference Network“ (GRN; Zellengröße 160 x 160 km, Fläche 25.600 km²) basieren (DARNLEY et al., 1995; DARNLEY, 1997). Das Nachfolgeprojekt IGCP 360 („Global Geochemical Baselines“) finalisierte schließlich den weltweiten Probenraster und die Standardisierung der geochemischen Untersuchungsmethoden für verschiedene Umwelt- und Ressourcenbereiche.

Eine Arbeitsgruppe (Working Group on Regional Geochemical Mapping) der „Western European Geological Surveys“ (WEGS), die sich federführend in Europa mit der Umsetzung des internationalen geochemischen Kartierungsprogramms beschäftigte, war in den Jahren 1988 bis 1990 einerseits mit einer Metadatenzusammenstellung bisheriger geochemischer Kartierungsprogramme in den Mitgliedsländern, andererseits mit der Entwicklung und dem Test von geochemischen Untersuchungsmethoden auf Basis eines weitmaschigen Probenrasters befasst. Als relativ neues Konzept wurde dabei die Beprobung von Überflutungssedimenten empfohlen, die in einer Reihe von europäischen Testgebieten (darunter auch in Österreich) methodisch getestet wurde (DEMETRIADES et al., 1990; SCHERMANN, 1992).

Als europäischer Beitrag zur IUGS-Arbeitsgruppe „Global Geochemical Baselines“ wurde 1996 vom „Forum of European Geological Surveys“ (FOREGS) die Durchführung eines Programms zur geochemischen Kartierung in Europa (geochemical baseline mapping) beschlossen und die FOREGS Geochemistry Expert Group mit der Abwicklung in 26 Teilnehmerstaaten beauftragt. Ziel der Kartierung war es, mit der Entnahme, der Aufbereitung und der Analyse von Proben die Zellen des „Global Terrestrial Network“ (GTN) in harmonisierten und standardisierten Schritten abzudecken. Dieses Material sollte auch als Referenz zur Ausweitung der Ergebnisse nationaler geochemischer Kartierungen auf einen europäischen bzw. weltweiten Maßstab dienen. Die Auswahl der Standorte für eine Probenentnahme erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Übergeordnetes Ziel dieser umweltgeochemischen Untersuchungen im europäischen Maßstab war die Schaffung einer vergleichbaren Datenbasis (geochemische Hintergrundgehalte) für die europäische Gesetzgebung im Bereich Grundwasser- und Bodenschutz, aber auch bei der Festlegung von Grenzwerten in der Trinkwasser- und Klärschlammverordnung.

Die Beprobung der in Österreich in den betreffenden GTN-Zellen festgelegten Probennahmepunkten erfolgte 1998 durch die Geologische Bundesanstalt. Der Gesamtprobenumfang betrug österreichweit 105 Proben unterschiedlicher Probenmedien (20 Bachsedimente, 19 Überflutungssedimente, 20 Oberflächengewässer, 18 Oberböden, 15 Unterböden, 13 Humusproben).

Die Gesamtergebnisse dieses europäischen Gemeinschaftswerkes sind in einem zweibändigen „Geochemical Atlas of Europe“ (SALMINEN, 2005; DE VOS & TARVAJAINEN, 2006) dokumentiert, der auch online unter www.gsfc

fi/publ/foregsatlas abrufbar ist. Der FOREGS Atlas ist das erste gesamteuropäische Werk mit harmonisierten geochemischen Daten für Oberflächenwässer, Bachsedimente, Überflutungssedimente und Böden, der die Anforderungen verschiedener EU-Verordnungen erfüllt.

Der aktuell erschienene Atlas „Geochemistry of Europe's Agricultural Soils“ (REIMANN et al., 2014a, b) stellt ein follow-up Produkt des „Geochemical Atlas of Europe“ dar. Das zugrunde liegende Projekt „Geochemistry of agricultural and grazing land soils“ (GEMAS) ist eine Kooperation zwischen der Geochemistry Expert Group des EGS und Eurometaux. 2008 bis 2009 wurden im Rahmen dieses Untersuchungsprogrammes in insgesamt 33 europäi-

schen Ländern 2.108 Proben im Bereich Ackerlandböden und 2.023 im Bereich Kulturweideböden genommen. Das entspricht etwa einer Beprobungsdichte von einer Probe pro 2.500 km². Der Analysenrahmen umfasste die Bestimmung von 52 Elementen mit Königswasserauszug, 39 Elementen im Vollaufschluss sowie einer Reihe bodenrelevanter Parameter. GEMAS liefert im europäischen Maßstab eine wichtige Datengrundlage (Hintergrundgehalte) für die Administration von REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) und anderer legislativen Festlegungen von Metallgehalten in Böden, insbesondere zur Bewertung der Bodenqualität in der geplanten EU-Bodenschutz-Richtlinie.

2 Programmstruktur

(HERBERT PIRKL)

2.1 Organisation, Teams, Finanzierung

Die Geochemische Landesaufnahme war – so wie die Geologische und Geophysikalische Landesaufnahme – Programmauftrag für die Geologische Bundesanstalt (GBA) seit der Reorganisation in den 1970er Jahren. Die systematische Bach- und Flusssedimentgeochemie war somit ein wichtiger Programmteil dieser Geochemischen Landesaufnahme. Seit den ersten Projektdiskussionen im Frühjahr 1978 übernahm daher die Geologische Bundesanstalt die fachliche und organisatorische Gesamtkoordination. Die Geologische Bundesanstalt war jedoch zu diesem Zeitpunkt personell nicht in der Lage, auch die gesamte Durchführung zu übernehmen.

Wie oben schon ausgeführt, war eines der Hauptziele des Programms die Unterstützung einer modernen Rohstoffprospektion. Daher wurden schon vom Start weg österreichische Firmen mit Prospektionsinteressen in die Fachdiskussion und die Planungen eingebunden. Insbesondere waren das die damaligen Prospektionsabteilungen der VOEST-Alpine (VA) und der Bleiberger Bergwerksunion (BBU). Ausschlaggebend für die Teambildung waren letztlich auch die Randbedingungen und Möglichkeiten der Projektfinanzierung.

Eine erste Kostenberechnung im Juli 1978 für eine flächendeckende Bach- und Flusssedimentgeochemie in der Böhmisches Masse und der Zentralzone erbrachte einen Rahmen von 18 bis 21 Mio. Schilling (ATS) bei einem 5- bis 6-jährigen Projektzeitraum. Das hätte einen jährlichen Kostenrahmen von ca. 3 bis 4 Mio. ATS bedeutet. Aus Mitteln zum Vollzug des Lagerstättengesetzes stand diese jährliche Summe nicht zur Verfügung, da in dessen Rahmen bereits zahlreiche andere Rohstoffforschungsprojekte geplant waren. Deshalb wurde auf die Möglichkeiten der Auftragsforschung des damaligen Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (BMWF) einerseits und der Bergbauförderung des damaligen Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie (BMHGI) andererseits zurückgegriffen. Ein interministerielles Beamtenkomitee dieser beiden Ministerien koordinierte dabei die Mittelvergabe und die entsprechende Kontrolle. Aus den letzteren Budgetansätzen war eine direkte Einbindung der prospektierenden Firmen möglich.

Unter der fachlichen Koordination der Geologischen Bundesanstalt wurde die Verantwortung für die Probenahme somit auf drei Partner aufgeteilt (Abb. 1):

- Böhmisches Masse – GBA
- Große Teile der Zentralzone – VA
- Östliche Zentralzone – BBU
- Kreuzeckgruppe – GBA und BBU

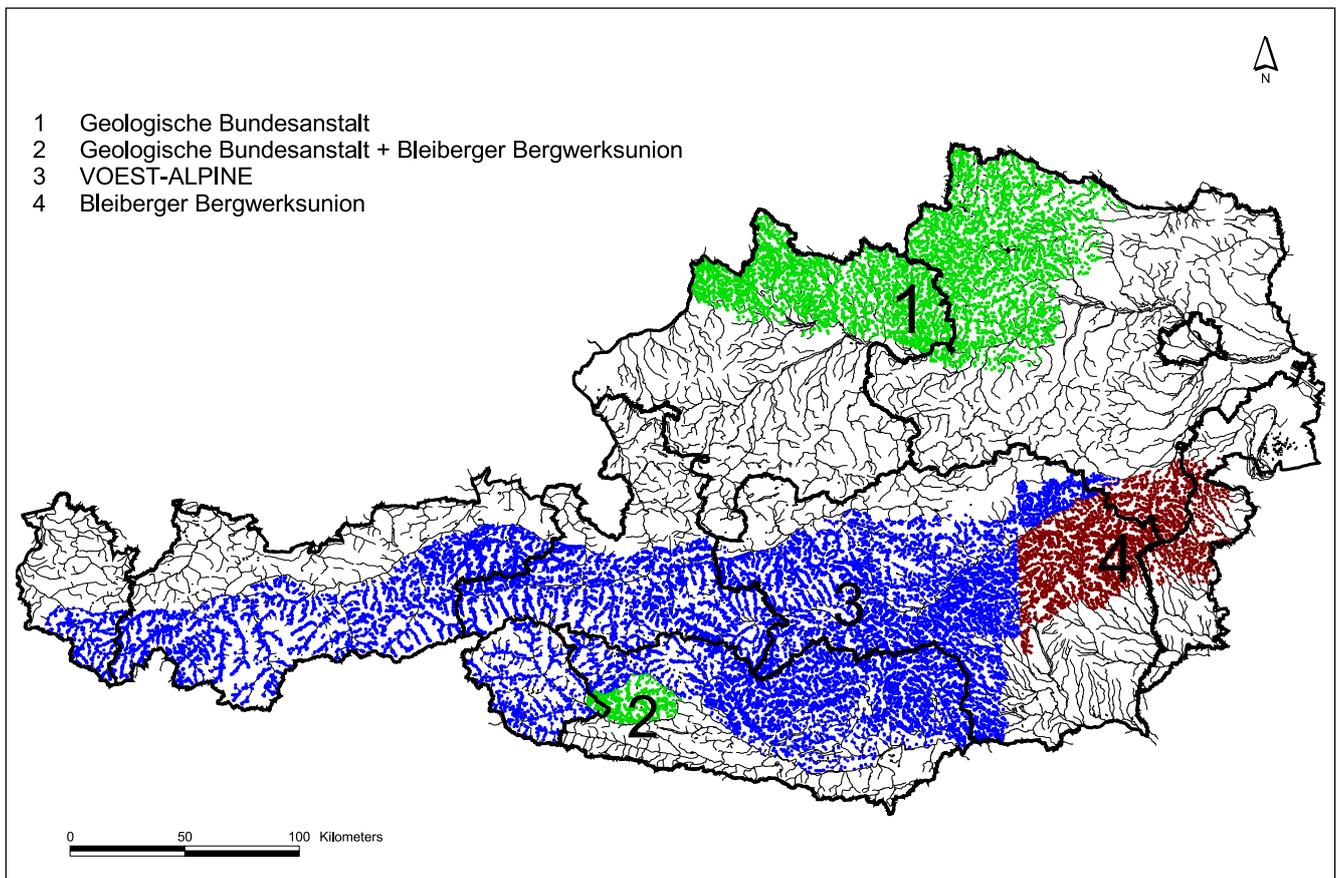


Abb. 1. Bach- und Flusssedimentgeochemie – Böhmisches Masse und Zentralzone; räumliche Aufteilung der Verantwortung für die Probenahme.

Verbunden mit dieser räumlichen Aufteilung war die Option, dass die Analyseergebnisse aus den jeweiligen Gebieten den Partnern auch für Eigenforschungsansätze zur Verfügung stehen.

Diese Eigenforschungen der Prospektionsfirmen wurden aus den Budgetmitteln der Bergbauförderung unterstützt. Da das Team der VOEST-Alpine den größten Projektteil abdeckte und auch über die entsprechende technische Ausrüstung verfügte, wurde die Beauftragung der Analytik, die Kontrolle der Analyseergebnisse und die Primärdokumentation über die VA abgewickelt.

Eine Vorgabe der beteiligten Ministerien war, dass die notwendige Großserienanalytik innerhalb Österreichs ausgeführt werden sollte. Als geeigneter Partner kam zum Zeitpunkt des Programmstarts nur das Geotechnische Institut des damaligen Forschungszentrums Arsenal in Frage, ressortierend beim damaligen Bundesministerium für Bauten und Technik (BMBT). Aber auch dieses Labor musste mit zusätzlichem Equipment ausgestattet werden, um den benötigten Mengendurchsatz bewältigen zu können. Angestrebter Nebeneffekt war, dass damit ein potentes geowissenschaftliches Labor für Österreich aufgebaut werden konnte.

In der weiteren Folge des Programms wurde die gesamte Multielementanalytik durch das Labor des Forschungszentrums Arsenal (und dessen Nachfolgeinstitution – ARC Seibersdorf) ausgeführt.

Während der ersten Projektjahre wurde im Umfeld der Montanuniversität Leoben aus Mitteln der Auftragsforschung des BMWF eine zusätzliche EDV-Kapazität aufgebaut („Rohstoffforschung Leoben“). Als Projektträger fungierte die Forschungsgesellschaft Joanneum (FGJ). Mit Hilfe dieser Einrichtung wurden begleitende Kontroll- und Interpretationsansätze entwickelt.

Die abschließende Dokumentation des Programmteiles Bach- und Flusssedimentgeochemie Böhmisches Masse/ Zentralzone erfolgte sowohl als geplottete Elementkarten im Maßstab 1:50.000, als auch in Atlasform mit Erläuterungen unter Kooperation von GBA, VA und Forschungszentrum Arsenal (THALMANN et al., 1989a, b).

Die finanzielle Abrechnung aller Forschungsprojekte, die mit der Bach- und Flusssedimentgeochemie für die Bereiche Böhmisches Masse und Zentralzone verknüpft waren, ergab im Jahr 1989 eine Summe von knapp über 80 Mio. ATS – somit etwa das Vierfache der ersten Kostenschätzung im Jahr 1978 (siehe oben). Diese Kostensteigerungen ergaben sich aus mehreren Aspekten:

- Am Beginn wurde nur eine einfache, analoge Ergebnisdokumentation angedacht. Im Laufe des Programms standen aber immer bessere digitale Dokumentations- und Visualisierungstechniken zur Verfügung, wodurch eine umfangreiche, digitale Kartenerstellung möglich wurde.
- In das Programm wurden sowohl finanziell als auch fachlich konkrete und großräumige Prospektionsprojekte integriert. Im Rahmen dieser Prospektionsprojekte wurde gebietsweise auch die Schwermineraufkonzentration in den Bächen beprobt sowie eine vorgezogene Analytik auf Metall-Elemente ausgeführt.
- Die Ergebnisse, die nach der ersten Programmphase (1989) vorlagen, hatten in ihrem Umfang mit der Planung von 1978 nicht mehr viel gemeinsam. Das Programm hatte sich in dieser Zeit inhaltlich sehr stark weiterentwickelt.

Nach der Dokumentation des ersten Programmteiles wurden, wie oben beschrieben, die Programmziele etwas verändert. Die Finanzierung musste dafür auch jeweils mit

Bundesland	Projektleitung	Durchführung Probenahme	Durchführung Analytik	Durchführung Auswertung und Dokumentation
Niederösterreich	Geotechnisches Institut Arsenal	Teams der VOEST-Alpine	Geotechnisches Institut FBVA Arsenal	Geotechnisches Institut Arsenal, Büro Hausberger, Büro Pirkl
Oberösterreich	Geotechnisches Institut Arsenal	Teams Büro Pirkl	Geotechnisches Institut FBVA Arsenal	Geotechnisches Institut Arsenal, Büro Pirkl
Salzburg	Geotechnisches Institut Arsenal / ARC Seibersdorf	Teams Büro Pirkl	Geotechnisches Institut FBVA Arsenal / ARC Seibersdorf	ARC Seibersdorf, Büro Pirkl
Tirol	Geotechnisches Institut Arsenal / ARC Seibersdorf	Teams Büro Pirkl	Geotechnisches Institut FBVA Arsenal / ARC Seibersdorf	ARC Seibersdorf, Büro Pirkl
Burgenland	Geotechnisches Institut Arsenal / ARC Seibersdorf, GBA	Teams Büro Pirkl	Geotechnisches Institut FBVA Arsenal / ARC Seibersdorf	ARC Seibersdorf, Büro Pirkl, GBA
Vorarlberg	GBA	Teams Büro Pirkl	ARC Seibersdorf	GBA, Büro Pirkl
Kärnten	GBA	Teams GBA Teams Büro Pirkl	ARC Seibersdorf	GBA, Büro Pirkl
Steiermark	GBA	Teams GBA	ARC Seibersdorf	GBA, Büro Pirkl
Wien	GBA	Teams GBA	ARC Seibersdorf	GBA

Tab. 1. Bach- und Flusssedimentgeochemie Bundesländerprojekte, Projektleitung und jeweilige Verantwortung für die technische Durchführung.

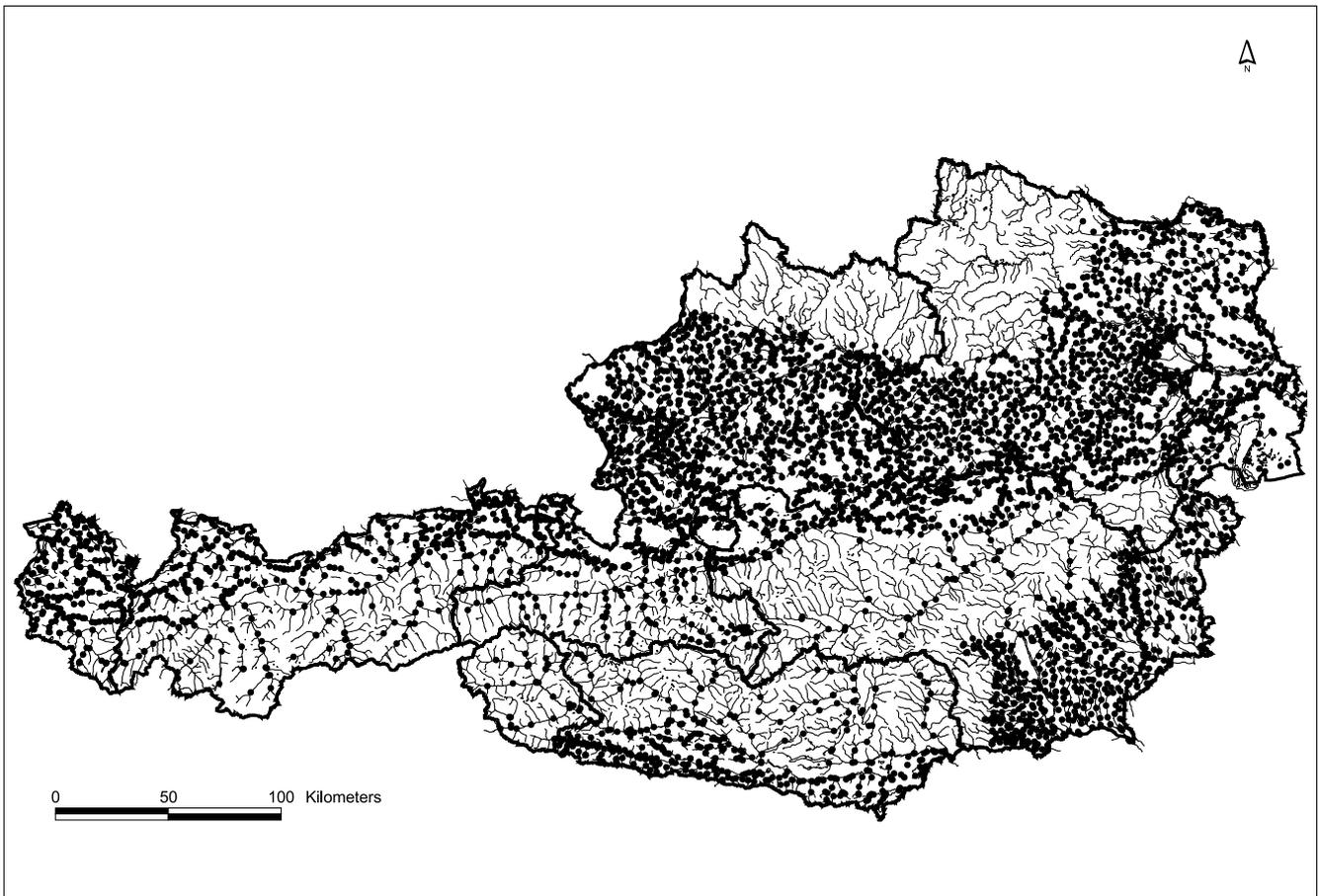


Abb. 2.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Bundesländerprojekte, Lageverteilung.

den entsprechenden Bundesländern getrennt verhandelt werden. Dadurch ergab sich ein längerer Bearbeitungszeitraum für diesen Programmteil und eine komplexere Teamstruktur.

Neben den oft langwierigen Finanzierungsverhandlungen im Rahmen der Bund/Bundesländer-Kooperation für Rohstoff-, Energie und Umweltforschung führten Umstrukturierungen in mehreren Institutionen zu Veränderungen hinsichtlich der Projektleitungen sowie bei der Durchführung von Probenahme und Analytik (Tab. 1, Abb. 2).

Trotz des langen Bearbeitungszeitraumes für die systematische Bach- und Flusssedimentgeochemie Österreichs (1978–2010) wurde durch mehrere Personen sowohl die Fachkontinuität in der Gesamtkoordination bei der Durchführung und Kontrolle der Probenahme, als auch in etwas eingeschränkter Weise bei der Durchführung der Analytik gewahrt.

2.2 Zeitlicher Ablauf

In Tabelle 2 und den Abbildungen 3 und 4 ist der zeitlich-räumliche Ablauf dokumentiert.

Der lange Zeitraum von 1978 bis 1989 für die Durchführung des Programmteiles Böhmisches Masse – Zentralzone ergibt sich aus mehreren Aspekten und Randbedingungen:

- dem Umfang der Probenahme;
- dem verzögerten Aufbau der notwendigen Analytik-Kapazität und damit einer zeitverschobenen Analytik-Phase;
- einer mehrjährigen Dokumentationsphase einschließlich der Druckvorbereitung des „Geochemischen Atlas“ (THALMANN et al., 1989a, b).

Im Gegensatz dazu war der jeweils mehrjährige Durchführungszeitraum in den Bundesländerprojekten meist auf finanztechnische Vorgaben der Bundesländer zurückzuführen und nicht auf interne Projektverzögerungen.

Beprobungen wurden für die einzelnen Teilprojekte meist innerhalb eines Jahres abgeschlossen. Ausnahmen davon sind die Probenahmen in der Böhmisches Masse und für das Projekt Niederösterreich. Im Projektgebiet Böhmisches Masse überlagern sich die Beprobungen von 1978 und 1979 räumlich (Abb. 3). Wie weiter unten beschrieben, hatte das technische Gründe (Wechsel im Beprobungsteam sowie Fehler in der Lernphase 1978). Im Zuge des Projekts Niederösterreich bestand ein personeller Engpass bei eingeschulten Probenehmern, weshalb die Probenahme auf zwei Jahre aufgeteilt wurde.

Die Probenahme für den Programmteil Böhmisches Masse – Zentralzone wurde prinzipiell mit 1981 abgeschlossen, im Jahr 1982 nur noch die Probenahme an den Hauptflüssen in Osttirol wiederholt.

Projektgebiet	Zeitraum Beprobung	Zeitraum Analytik und Dokumentation	Endbericht
Böhmische Masse	1978–1979	1979–1989	THALMANN et al. (1989a, b)
Zentralzone	1978–1982	1979–1989	THALMANN et al. (1989a, b)
Niederösterreich	1991–1992	1991–1997	KRALIK & AUGUSTIN-GYURITS (1994); AUGUSTIN-GYURITS & HOLNSTEINER (1997)
Oberösterreich	1994	1994–1998	AUGUSTIN-GYURITS et al. (1998)
Salzburg	1999	1999–2002	WIMMER et al. (2002a)
Tirol	1999	1999–2002	WIMMER et al. (2002b)
Burgenland	2001	2001–2006	KLEIN et al. (2008)
Vorarlberg	2002	2002–2005	KLEIN et al. (2005)
Kärnten	2005	2005–2008	KLEIN et al. (2006, 2007); SCHEDL et al. (2008)
Steiermark	2007	2007–2010	SCHEDL et al. (2009, 2010a, b)
Wien	2008	2008–2010	PFLEIDERER et al. (2010)

Tab. 2.
Bach- und Flusssedimentgeochemie, Bearbeitungszeiträume der Teilprojekte.

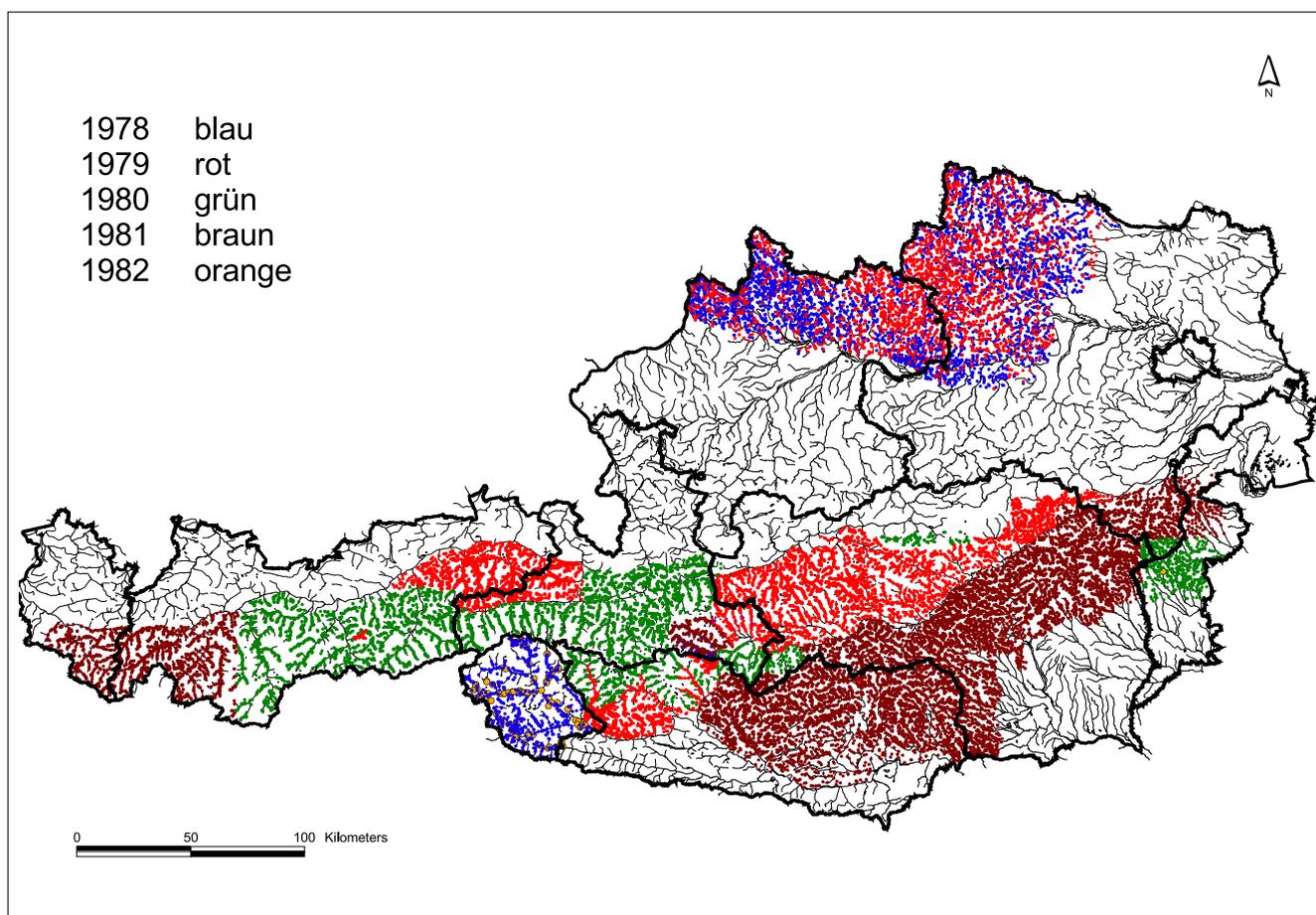


Abb. 3.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Böhmische Masse und Zentralzone, Zeitablauf nach Probenahmejahren.

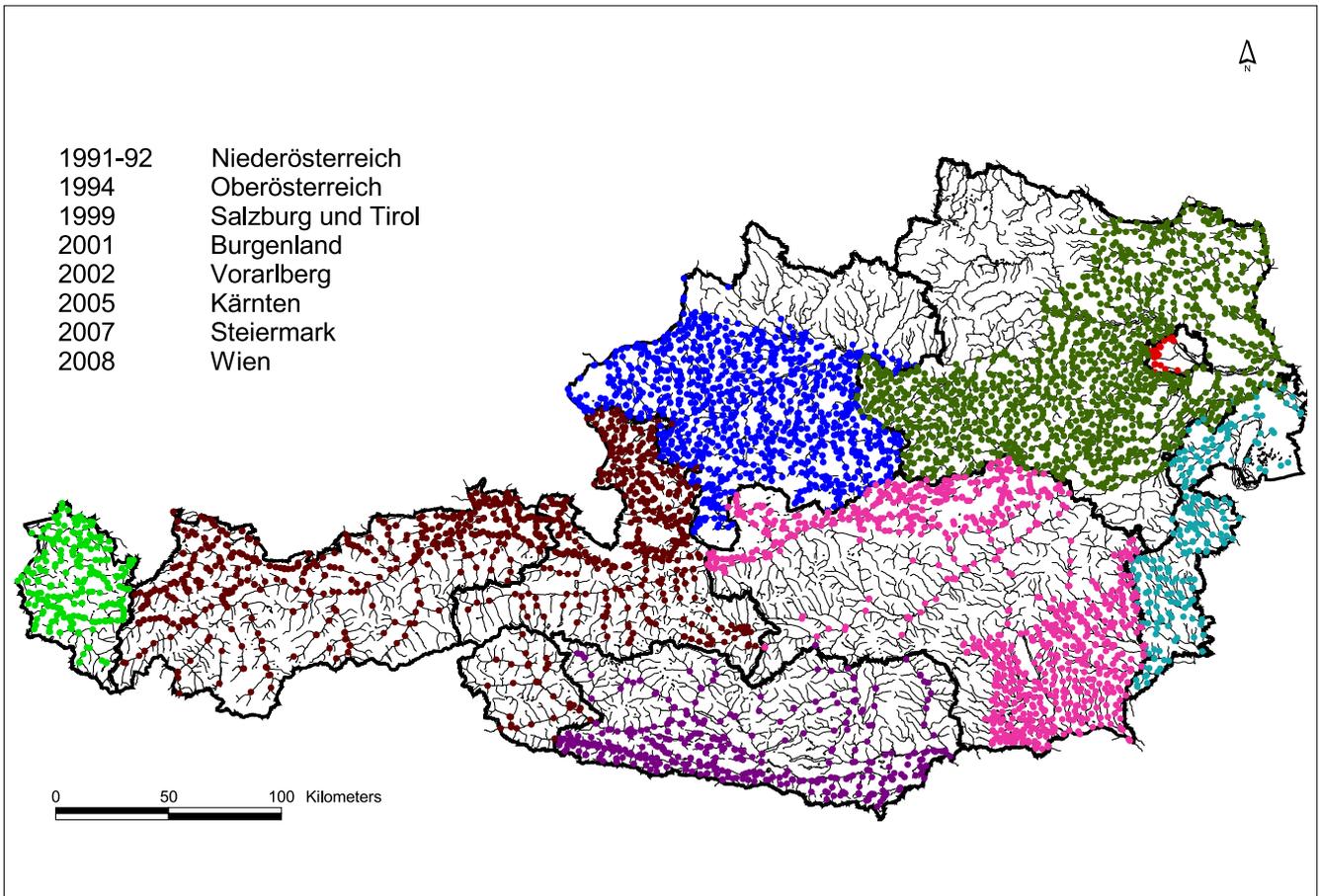


Abb. 4.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Bundesländerprojekte, Zeitablauf nach Probenahmejahren.

3 Arbeitsmethodik und Teilprojekte

(HERBERT PIRKL, PETER KLEIN & GERHARD HOBIGER)

3.1 Programmteil Böhmische Masse und Zentralzone / Bachsedimente < 0,18 mm

Fachliche Ziele

Die Programmziele der ersten Phase in der Böhmischen Masse und der Zentralzone (Ostalpines Kristallin, Penninikum, Grauwackenzone) waren eindeutig auf die Rohstoffprospektion (insbesondere auf Metalle und Halbmetalle) ausgerichtet. Aus diesem Grund waren auch die Bach- und Flusssedimente das Medium der Wahl. Auch die Ziel-Kornfraktion von < 0,18 mm baute auf Erfahrungen aus großräumigen Prospektionsprogrammen in anderen europäischen Ländern und Kanada auf.

Die systematische Probenahme und Analytik von Bach-/Flusssedimenten, die ein integriertes Bild der lithologischen Verhältnisse in ihrem Einzugsgebiet widerspiegelt, sollte einen raschen regionalen Überblick ermöglichen. Auf den Ergebnissen dieser regionalen Elementverteilungsmuster sollten dann in einer zweiten Phase die spezifischen, lokalen Prospektionen aufsetzen.

Unterstützt wurde dieser Ansatz durch den Fund des Scheelit-Vorkommens von Mittersill kurz vor Planungsbeginn des gegenständlichen Programms. Aufbauend auf den Erfahrungen dieses Fundes wurden parallel zur systematischen Bachsedimentgeochemie auch gezielte Probenahmen der Schwerminerale mit nachfolgender UV-Prospektion auf Wolfram-Vererzungen eingesetzt. Die parallel laufenden Prospektionsprojekte beschränkten sich freilich nicht nur auf Stahlveredler-Elemente (Wolfram, Molybdän), sondern wurden auch hinsichtlich weiterer Buntmetall-Ressourcen (Blei-Zink, Antimon) forciert.

Probenahmeplanung und Probenahme

In einer Reihe europäischer Geologischer Dienste gab es Mitte der 1970er Jahre umfangreiche Erfahrungen mit der Probenahme von Bachsedimenten (z.B. BGR, SGU, NGU). Diese Erfahrungen wurden auch für die Planungen in Österreich zur Verfügung gestellt. Jedes Land hatte dabei eine jeweils angepasste, voneinander etwas abweichende Arbeitsmethodik entwickelt, die z.B. im Handling am Probepunkt differierte. Sehr rasch stellte sich heraus, dass die Arbeitsmethodik für das österreichische Programm ebenfalls an die sehr unterschiedlichen Gegeben-



Abb. 5.
Probenahmestelle für Bachsediment; Beispiel für einen gut strukturierten Bachabschnitt, aktiven Sedimentdurchsatz und ein breites Korngrößenspektrum.



Abb. 6.
Probenahmestellen für Bach-/Flusssedimente; Beispiele für Problem- oder Extremsituationen.

heiten anzupassen ist. Die Beprobung betraf ja nicht nur gut strukturierte Bäche (Abb. 5) mit einheitlicher Wasser-/ Geschiebeführung, sondern musste methodisch auch auf Extremfälle, die gar nicht so selten zu erwarten waren, anwendbar sein. Solche Sonder- oder Extremfälle sind beispielsweise (siehe Fotos in Abbildung 6):

- Wildbäche, verbaut oder unverbaut, mit stark zeitlich und räumlich wechselnden Wasser- bzw. Geschiebeführungssituationen. Künstliche Eingriffe wie periodische Geschiebeentnahmen sind dabei auch häufig anzutreffen.
- Gemauerte oder betonierte, kanalartige Gerinne mit oder ohne Sedimentführung und wechselnder Wasserführung.
- Gerinne-Abschnitte mit Grobblocksohle, zeitweise trockenfallend; praktisch kein Feinsediment anzutreffen.
- Flussartige, zum Teil langsam fließende Gerinne (oft auch mit hohem Wasserstand und ohne flache Uferzugänge).
- Bäche und Gerinne in Intensiv-Landwirtschaftsgebieten, oft stark verwachsen und mit hohen organischen Materialanteilen im Sediment.

Die Probenahmeplanung und damit die Festlegung der Beprobungspunkte erfolgte in einem ersten Schritt auf dem „grünen Tisch“, auf der Basis der Österreichischen Karte 1:50.000. In der Zentralzone wurde versucht, möglichst das gesamte (Klein-)Gerinnesystem abzudecken und dies, soweit möglich, bis in die obersten Einzugsgebiete. Dabei entsteht ein eher lineares Beprobungsmuster, das sich entlang der Hauptbäche verdichtet (siehe Beispielausschnitt in Abbildung 7). An den größeren Flüssen, wie in Abbildung 7 – Saalach oder Salzach – wurden keine Beprobungspunkte vorgesehen, da besonders in der Zentralzone anthropogene oder technogene Einflüsse auf die Sedimentzusammensetzung vermieden werden sollten.

Im Bereich der Böhmisches Masse (Mühl-/Waldviertel) ergibt sich bei der gleichen Vorgangsweise auf Grund der anders strukturierten Morphologie ein etwas anderes Muster (Abb. 8). Hier wurde aber auch das Hauptflusssystem in die Beprobung miteinbezogen; im Beispielausschnitt in Abbildung 8 betrifft dies z.B. Rodel, Gusen, Aist und Naarn.

In beiden Bereichen wurde mit dieser Beprobungsplanung eine Probepunktdichte von durchschnittlich einem Probepunkt pro km² erreicht.

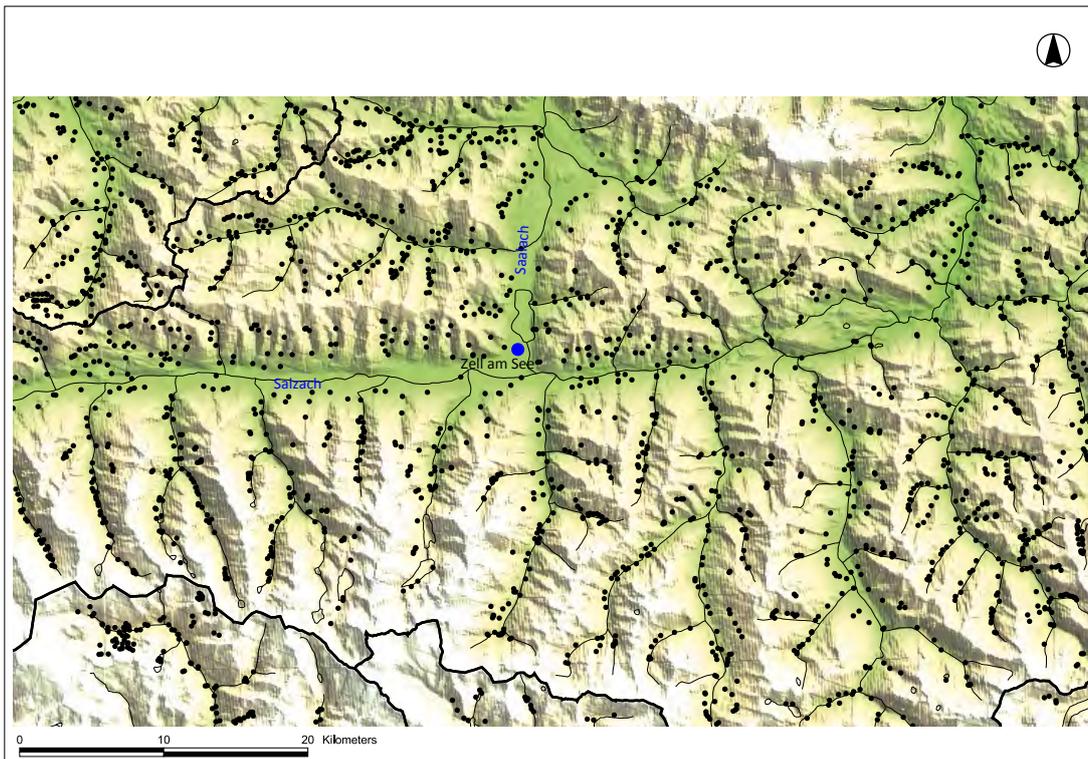


Abb. 7. Ausschnitt aus Bereich Pinzgau/Pongau (Zentralzone); Beispiel für die räumliche Probepunktverteilung.

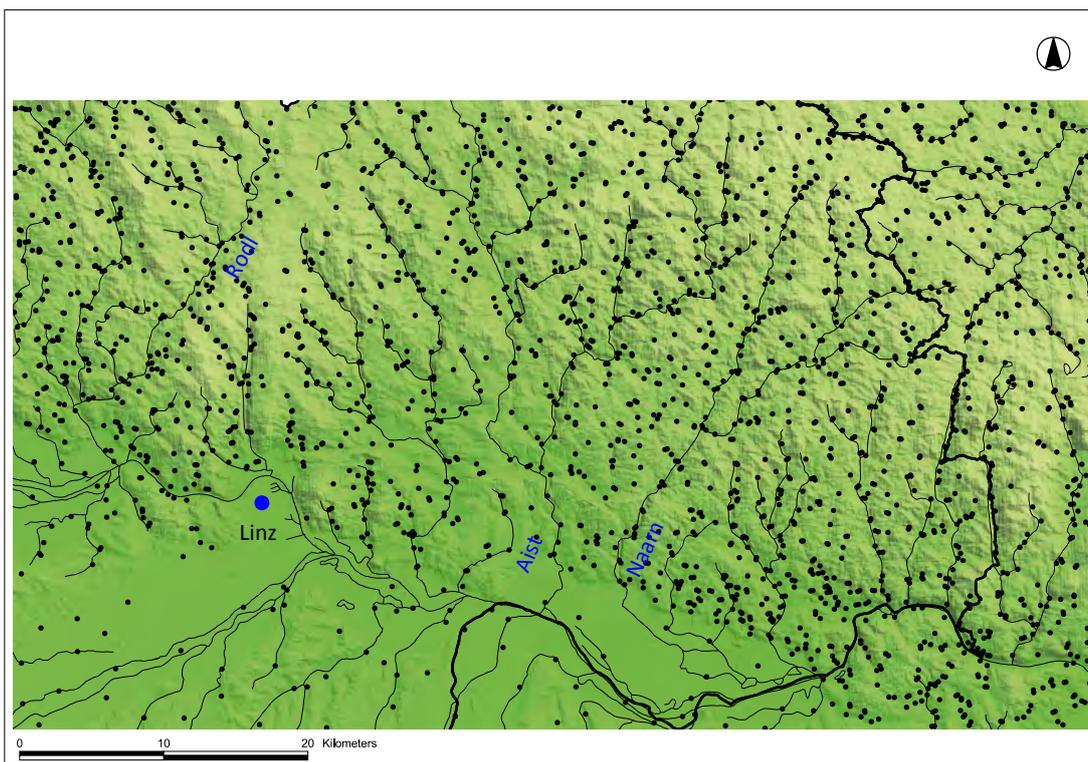


Abb. 8. Ausschnitt aus dem Bereich Mühltal (Böhmische Masse); Beispiel für die räumliche Probepunktverteilung.

Für die konkrete Probenahme galten folgende Richtlinien und Randbedingungen:

- Der Probenehmer sucht den in der Probenahmeplanung vorgesehenen Punkt auf. Falls an dem vorgesehenen Punkt keine Probenahme möglich oder sinnvoll ist, kann der Probepunkt innerhalb einer Strecke von maximal 50 m oberhalb bis 50 m unterhalb verlegt werden. Der tatsächliche Beprobungspunkt ist lagemäßig zu dokumentieren. Das Nummerierungssystem wurde vor der Probenahme festgelegt (durchnummerierte Probengebinde). Falls innerhalb dieser Strecke tatsächlich keine Beprobung ausführbar war, entschied die Projektleitung über einen alternativen Probepunkt.
- Zielmedium ist das aktive (durch die fließende Welle ständig weiter bewegte) Feinsediment. Bei der Zielkorngröße von $< 0,18$ mm handelt es sich überwiegend um den Feinsand-Schluffanteil des Bachsediments.

- Die notwendige Probemenge wurde insofern festgelegt, indem seitens der Analytik eine Mindestmenge von 50 g gefordert wurde. Vorarbeiten zeigten, dass etwa 1 kg Probemenge im Gelände notwendig war, um diese Anforderung zu erreichen. Die Probenehmer wurden daher angehalten, Probemengen von 1 bis 1,5 kg anzustreben. Nachfolgende Kontrollen zeigten, dass die Anschließung der notwendigen Originalprobemengen richtig gelegen ist (Abb. 9).
- Falls die zu beprobende Bachstrecke zum Zeitpunkt der Probenahme trockengefallen war, wurde trotzdem, wenn möglich, eine Feinsedimentprobe entnommen.
- Falls in der zu beprobenden Bachstrecke zu erwarten war, dass durch den normalen Beprobungsvorgang zu wenig Feinmaterial gewonnen werden konnte, wurde eine gewisse Anreicherung mittels Trockensiebung (Siebung < 0,18 mm) am Ort der Probenahme vorgenommen.
- Probleme am Probepunkt waren zu protokollieren.
- Die wichtigsten Vorgaben und Randbedingungen für die systematische Bachsedimentbeprobung wurden in der ÖNORM G 1031 (1979) festgehalten.

Wie schon oben festgestellt, sind die Beprobungen im Programm-Startjahr 1978 auch als Lernprozess zu sehen. Obwohl die Randbedingungen und die Planungen für die Beprobung vom Start weg einheitlich festgelegt waren, kam es zu Engpässen einerseits bei Probenehmern mit einem gewissen fachlichen Hintergrund, sowie andererseits bei dem Schulungs- und Kontrollpersonal. Die Erfahrungen

dieses Lernprozesses führten dazu, dass ab 1979 gut geschulte, fixe Beprobungsteams unter klar geregelten Kontrollroutinen eingesetzt wurden.

Hinsichtlich des zeitlichen und räumlichen Ablaufes der Beprobungen in der Böhmisches Masse und der Zentralzone, siehe auch Tabelle 2 und Abbildung 3.

Probenaufbereitung

Die Probenaufbereitung bezieht sich auf die Arbeitsschritte im Gelände und die weitere Probenbehandlung im Labor. Wie in Tabelle 3 zusammengefasst, gab es dabei prinzipiell zwei Vorgangsweisen: Im ersten Fall wurden die Proben im Gelände vorgetrocknet und alle weiteren Schritte im Labor gesetzt, im zweiten Fall wurden alle Arbeitsschritte in einem Geländelabor ausgeführt. Im Fall des Geländelabors wurden die Proben rasch nach der Probenahme bearbeitet und im Fall einer zu geringen Probemenge war eine Ergänzungsbeprobung vorgesehen. Im Fall der Abarbeitung der Aufbereitungsschritte im Labor erfolgte diese Rückkopplung erst nach längerer Zeit.

Eine Gegenüberstellung der Inhalte der Kornfraktion < 0,18 mm in den jeweiligen Originalproben aus der Böhmisches Masse von 1978 und 1979 lässt mehrere Informationen zu (Abb. 10):

- Die große Varianz in den Gewichten der Kornfraktion < 0,18 mm im Jahr 1978 lässt darauf schließen, dass durch die Probenehmer im Jahr 1978 „vorsichtshalber“ größere Probemengen entnommen und möglicherweise

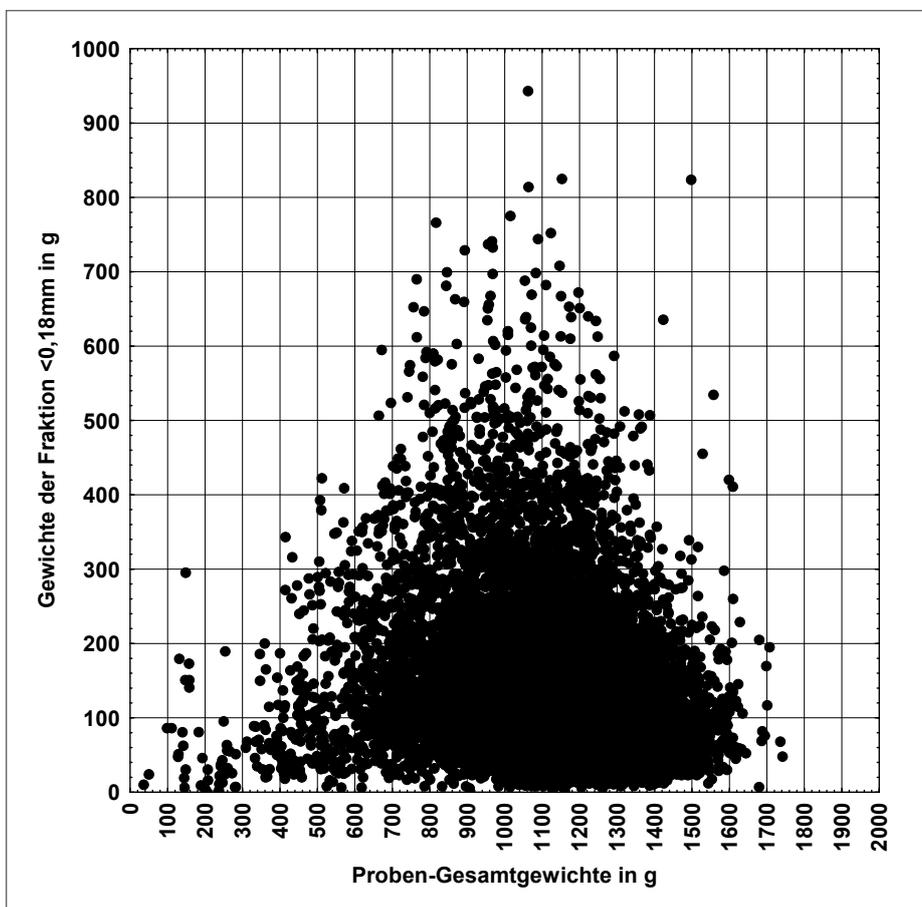


Abb. 9. Bachsedimente Zentralzone; Zusammenhang zwischen Gewicht der Geländeprobe und dem jeweiligen Sedimentanteil < 0,18 mm.

Teams	Im Gelände	Im Labor Arsenal
Team GBA 1978	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen.	Trocknung in Trockenschränken; Wägen der Gesamtprobe; Siebung < 0,18 mm; Wägen der gesiebten Probe.
Team GBA 1979	Geländelabor; Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen; Wägen der Gesamtprobe; Trocknung in Trockenschränken – Bestimmung des Trockenverlustes bei 110 °C; Siebung < 0,18 mm; Wägen der gesiebten Probe.	
Team VA	Vortrocknung in Trocknungsanlagen bei < 60 °C (z.B. in Sägewerken).	Trocknung in Trockenschränken; Wägen der Gesamtprobe; Siebung < 0,18 mm; Wägen der gesiebten Probe.
Team BBU	Geländelabor; Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen; Wägen der Gesamtprobe; Trocknung in Trockenschränken – Bestimmung des Trockenverlustes bei 110 °C; Siebung < 0,18 mm; Wägen der gesiebten Probe.	

Tab. 3.
Vorgangsweise bei der Probenaufbereitung nach Projektteams.

se auch Stellen mit besonders feinem Material gezielt aufgesucht wurden. Die Varianz kann aber auch durch unterschiedlich lange Siebvorgänge bedingt sein.

- Im Geländelabor 1979 wurden fixe Siebzeiten für alle Proben vorgegeben. Dadurch ergaben sich ein geringerer Zeitaufwand und eine rasche Rückkoppelungsmöglichkeit. Für die Probenehmer brachte das die Sicherheit, das Beprobungsziel auch mit geringeren

Probemengen zu erreichen. Auch wurden durch die Fachkontrolle falsche Probenahmen (z.B. nur im Stillwasserbereich) rasch erkannt. Insgesamt führte die Vorgangsweise zu einer strafferen Abwicklung bei geringerem ökonomischem Aufwand. Das bessere Erreichen der Zielmenge für die Analytik schon allein durch den Siebungsschritt machte aufwändige Proben-Homogenisierung und Probenteilung bei großen Probemengen nicht näher notwendig.

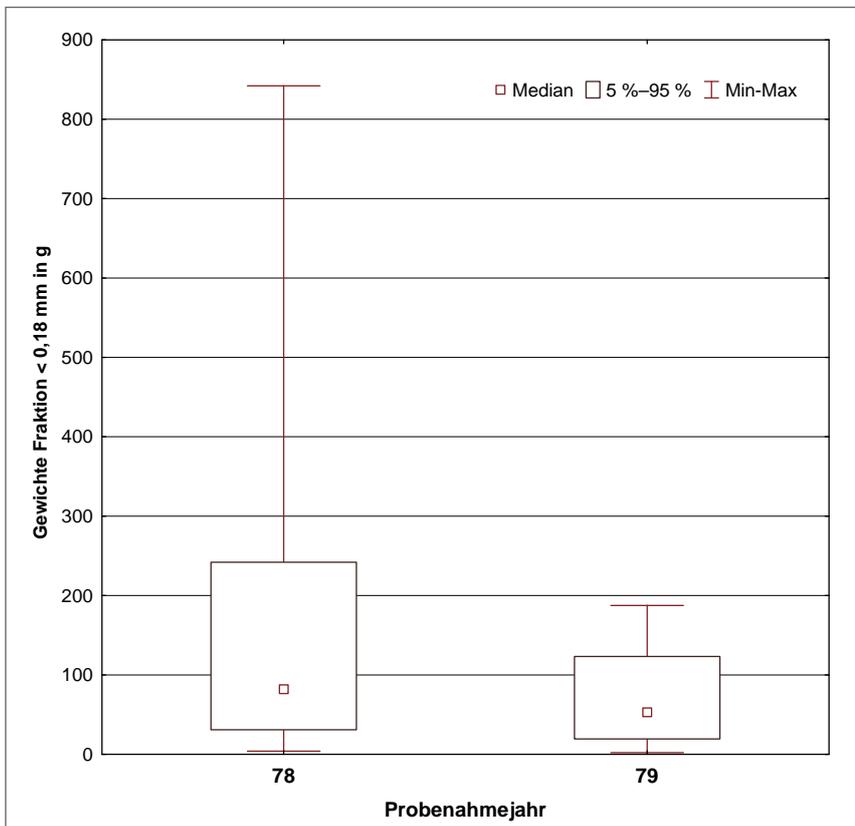


Abb. 10.
Bachsedimentgeochemie Böhmisches Masse; Gewichte der Kornfraktion < 0,18 mm nach Siebung, Vergleich der Beprobungsjahre 1978 und 1979.

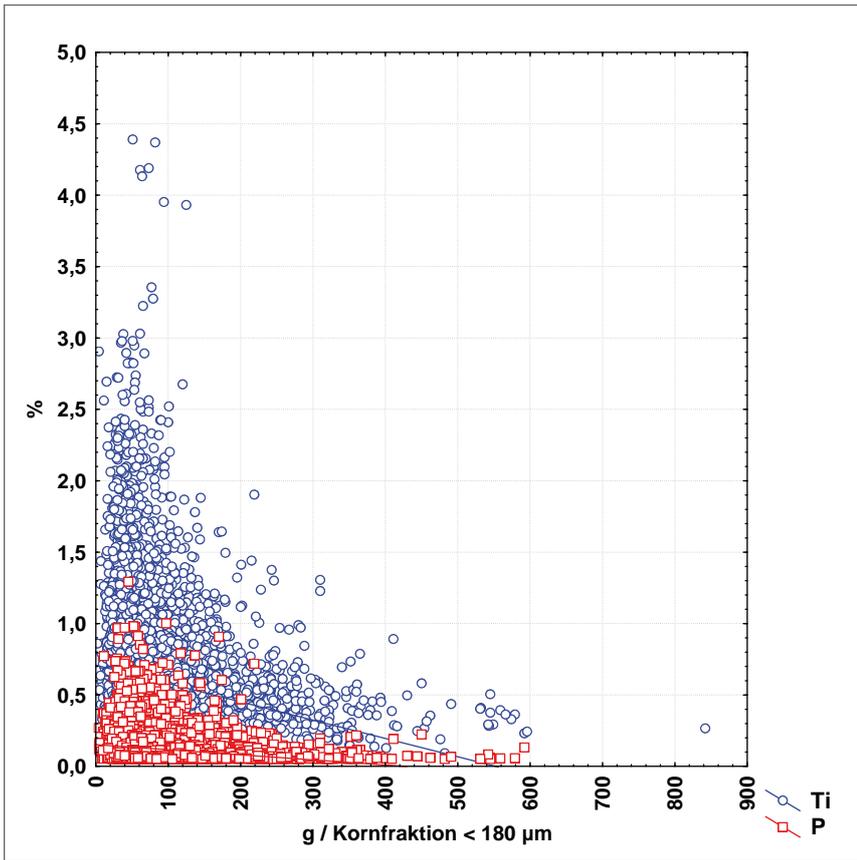


Abb. 11.
Korrelation zwischen dem Gewicht der Kornfraktion < 0,18 mm einerseits und den P-, Ti-Konzentrationen andererseits (Datenauszug Böhmisches Mass).

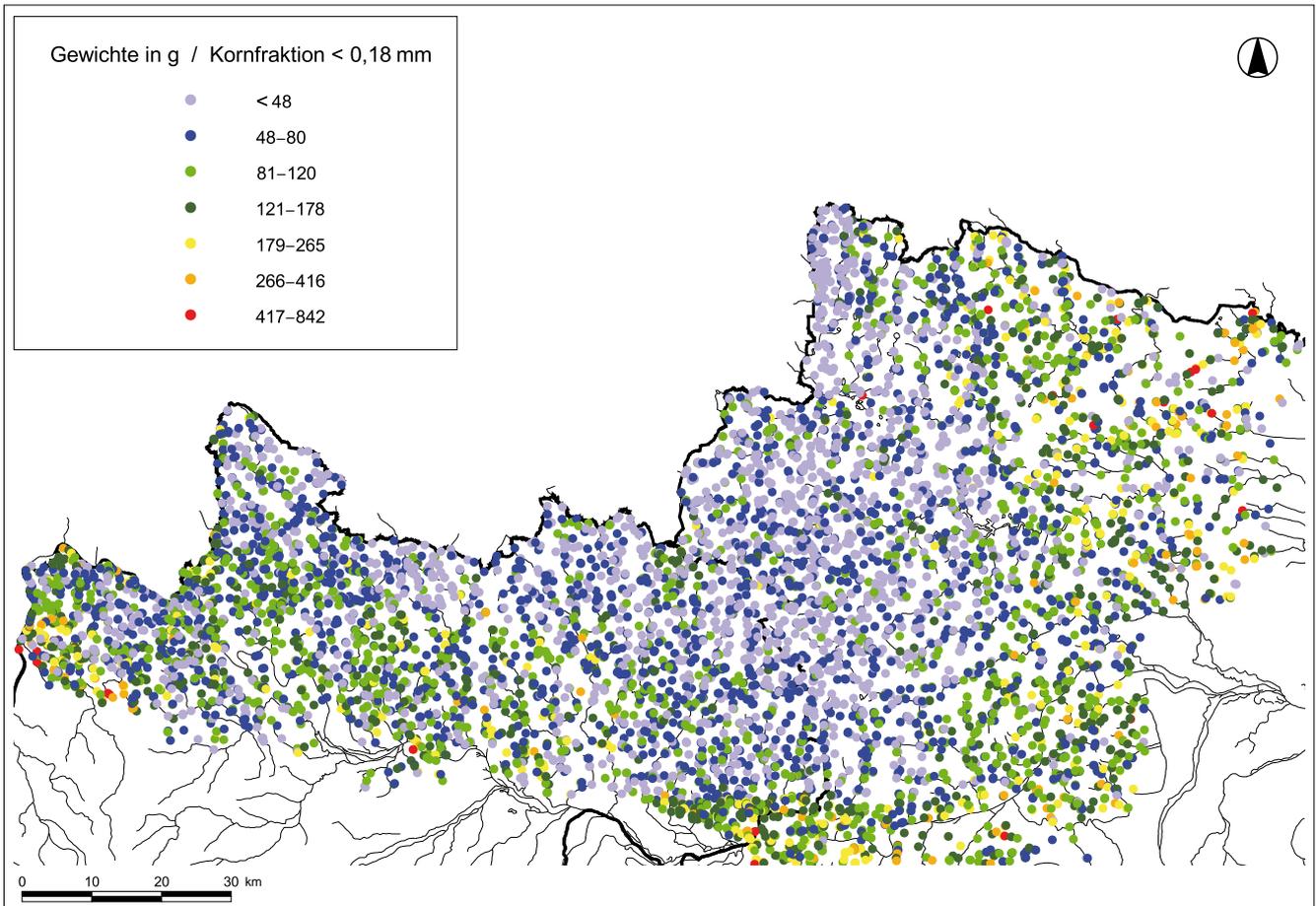


Abb. 12.
Räumliche Verteilung der Gewichte für die Kornfraktion < 0,18 mm in den Originalproben.

Bei der Gegenüberstellung der jeweilig erreichten Probenmengen < 0,18 mm einerseits und bestimmten Elementkonzentrationen andererseits zeigt sich das Phänomen, dass für Elemente wie Cer, Lanthan, Phosphor oder Titan negative Korrelationen bestehen (für Phosphor (P) und Titan (Ti), siehe Grafik in Abbildung 11).

In der räumlichen Darstellung der jeweiligen Gewichte der Kornfraktion < 0,18 mm in den Proben der Böhmisches Masse lassen sich eindeutige Zusammenhänge mit der Lithologie der Einzugsgebiete und der morphologischen Situation erkennen (Abb. 12). Wahrscheinlich ist der Schluss daraus zulässig, dass Schwerminerale in der Feinstfraktion (Feinschluff) angereichert werden; Feldspäte und Quarz demgegenüber in der Sand- und Kiesfraktion. Die morphologische Situation und der davon abhängige Sedimenttransport in den Bächen führen zu einer Trennung dieser Kornfraktionen und zu einer Anreicherung der Sandfraktion. Das bewirkt, dass im Bereich der Granite und granitoiden Gesteinstypen die Feinstfraktion im Sediment der Bäche zurücktritt.

Analytik

Im Erläuterungstextteil zum „Geochemischen Atlas der Republik Österreich / Böhmisches Masse und Zentralzone“ (THALMANN et al., 1989b) wird die Vorgangsweise bei der Analytik im Detail beschrieben. Zur Vollständigkeit werden hier die wichtigsten Informationen zur eingesetzten Multi-elementanalytik zusammengefasst. Als Analysemethoden wurden verwendet (Tab. 4):

- Optische Spektrometrie mit simultaner Messwerterfassung und induziert, gekoppelter Plasmaanregung (ICP-OES). Der entsprechende Aufschluss erfolgte in einem Säuregemisch $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{HClO}_4 = 5:1:1$.
- Wellenlängedispersive Röntgenfluoreszenzspektrometrie (XRF); Pulverpressling in Borsäureeinbettung.
- Optische Spektrografie (OES) mit 3,4 m Gitterspektrograf.
- Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) / Hydridmethode (für Antimon).
- Halbquantitative Methode nach Gutzeit (für Arsen).

Die Multi-elementmethode erfasste 35 Elemente. Laborintern wurden für eine Reihe von Elementen mehrere Analysemethoden zur Kontrolle eingesetzt. Zur Dokumentation und weiteren Bearbeitung wurden die Daten der folgenden Element-/Analytik-Kombinationen vom Labor übergeben (siehe Tab. 4).

Dokumentation

Die Phase der Dokumentation der Bachsediment-Analytikdaten für die Böhmisches Masse und die Zentralzone fiel in eine Übergangszeit, in der zwar schon EDV-Kapazitäten zur Verfügung standen, für die Verrechnung der für die damalige Zeit (zweite Hälfte der 1980er Jahre) großen Datenmengen aber entsprechende Zentralrechner notwendig waren. Da die Geologische Bundesanstalt zu dieser Zeit über keine entsprechenden Kapazitäten verfügte, wurde beschlossen, eine Dokumentation auch auf analoger Basis anzustreben, wobei die Kartenerstellung EDV-gestützt ausgeführt werden sollte.

Element	Methode
Ag	OES
Al	XRF
As	Gutzeit
Ba	ICP
Be	ICP
Ca	ICP
Ce	ICP
Co	ICP
Cr	ICP
Cu	ICP
Fe	ICP
Ga	ICP
K	XRF
La	ICP
Mg	ICP
Mn	ICP
Mo	OES
Na	ICP

Element	Methode
Nb	XRF
Ni	ICP
P	ICP
Pb	OES
Rb	XRF
Sb	AAS
Sc	ICP
Sn	OES
Sr	ICP
Th	XRF
Ti	ICP
U	XRF
V	ICP
W	XRF
Y	XRF
Zn	ICP
Zr	XRF

Tab. 4. Programmteil Böhmisches Masse und Zentralzone; Multi-element-/Analytikliste.

Die Dokumentation umfasste in der Endausführung:

- Eine Darstellung der Analyseergebnisse pro Element im Maßstab 1:50.000 auf Basis der ÖK 50. Die Elementverteilungen wurden sowohl als verrechnete Raster-, als auch als Punktsymboldarstellung ausgeführt. Für jedes ÖK-Blatt wurden auch eine Probepunktkarte und eine Darstellung der geologisch-tektonischen Einheiten gezeichnet. Jede dieser Karten wurde auf Folien (mit unterlegter Topografie) geplottet, wodurch eine weitere Vervielfältigung gewährleistet war – insgesamt mehr als 4.200 Einzelfolienplots im Maßstab 1:50.000.
- Ein dBASE-Datensatz, der neben den Analyseergebnissen auch zahlreiche Zusatzinformationen, wie Probepunktnummer, Labornummer, Probengewichte, geologisch-tektonische Einheiten am Probepunkt und im Einzugsgebiet, Lagekoordinaten, Probenahmejahr und das für die Probenahme verantwortliche Institut umfasste.
- „Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1.000.000 – Böhmisches Masse und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm)“ in gedruckter Form einschließlich Textteil (THALMANN et al., 1989a, b).

Aktuell sind die Daten dieses Programmteiles datenbankmäßig an der Geologischen Bundesanstalt erfasst und gesichert und stehen so für alle weiteren geostatistischen und/oder GIS-gestützten Auswertungen zur Verfügung.

3.2 Programmteil Bundesländerprojekte

Fachliche Ziele und Methodenerweiterung

Bereits während der Dokumentationsphase des „Geochemischen Atlas der Republik Österreich“ (THALMANN et al., 1989a, b) wurde an einer Konzeption für die weiteren Schritte im Rahmen der systematischen geochemischen Kartierung des Bundesgebietes gearbeitet und schon im September 1987 ein entsprechender Vorschlag gemeinsam durch das BVFA Arsenal und die GBA vorgelegt („Konzeptvorschlag für die Weiterführung systematischer geochemischer Untersuchungen mit zusätzlicher Schwerpunktsetzung bei der Aufklärung von Umweltbelastungen“). Darin waren als Ziele vorgesehen:

- Weiterführung der flächendeckenden Beprobung von Bach- und Flusssedimenten in den noch nicht erfassten Gebieten (Alpenvorland, Nördliche Kalkalpen, Flysch und Helvetikum, inneralpine Becken, alpine Randbecken, Drauzug, Karnische Alpen, Karawanken).
- Einbeziehung auch der großen Flussläufe.
- Beprobung auch unter Berücksichtigung von Immissionsituationen an Bächen und Flüssen.
- Wenn möglich auch Beprobung des Feinstsediments und Analytik an der Kornfraktion < 0,04 mm.
- Erfassung der jeweiligen hydrochemischen-hydrophysikalischen Randbedingungen am Beprobungspunkt.

Erst nach der Präsentation des als Druckwerk dokumentierten „Geochemischen Atlas der Republik Österreich“ (THALMANN et al., 1989a, b) zur Mitte des Jahres 1989 konnte mit der Verhandlung von Folgeprojekten begonnen werden. In dieser Phase übernahm das BVFA Arsenal die Initiative, entsprechende Projekte mit einzelnen Bundesländern zu diskutieren. Das Bundesländerprogramm startete mit dem Bundesland Niederösterreich im Jahr 1991. Die Finanzierung aller Bundesländerprojekte erfolgte im

Rahmen der Bund/Bundesländerkooperation für Rohstoff-, Energie und Umweltforschung. Die jeweilige Organisation und Durchführung dieser Teilprojekte übernahmen wechselnde Teams (Tab. 1, 5). Die konkrete Planung und die inhaltlichen Ziele dieser Projekte folgten der obigen Konzeption, verstärkt umweltgeochemische Aspekte zu berücksichtigen.

Probenahmeplanung, Probenahme und Probenaufbereitung

Die Beprobungsplanung in den Bundesländerprojekten musste zwei Randbedingungen beachten: Einerseits standen nur eingeschränkte Mittel zur Verfügung, andererseits sollten trotzdem die fachlichen Ziele voll erreicht werden. Um die erste Randbedingung zu erfüllen, wurde eine Beprobungsdichte von etwa einer Probe / 10 km² angepeilt. Dies stellt zwar im Mittel nur ein Zehntel der Beprobungsdichte in der Böhmisches Masse und der Zentralzone dar; wie sich aber gezeigt hat, wird trotzdem eine flächendeckende Erfassung des Gewässersystems dadurch möglich. Um die fachlichen Ziele – die Charakterisierung des geologisch bedingten Hintergrundes und die umweltgeochemischen Aspekte – zu verbinden, wurden 40 bis 50 % der Probepunkte für Kleineinzugsgebiete reserviert; mit der anderen Hälfte der Probepunkte wurde versucht, entlang der Hauptbäche die jeweiligen Emittenten oder Immissionsituationen (Siedlungen, Gewerbe/Industrie, Kläranlagen etc.) zu erfassen. Aus letzterem Aspekt wurden auch alle Hauptflüsse in der Zentralzone in die Beprobung miteinbezogen (Abb. 4).

Auf Grund der dann fast 20-jährigen Dauer der Programmdurchführung in den Bundesländern (1991 bis 2010) wechselten sowohl Projektleitungen als auch die jeweils durchführenden Teams (Tab. 5). Durch die übergeordnete Fachkoordination der Geologischen Bundesanstalt wurde die vorgegebene Programmlinie aber konsequent eingehalten.

Bundesland	Beprobung Jahr	Beprobung Team	Handling und Verantwortung für Aufbereitung
Niederösterreich	1991–1992	Teams VA Eisenerz	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor FBVA Arsenal zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Oberösterreich	1994	Teams Büro Pirkl	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor FBVA Arsenal zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Salzburg	1999	Teams Büro Pirkl	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor FBVA Arsenal zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Tirol	1999	Teams Büro Pirkl	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor FBVA Arsenal zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Burgenland	2001	Teams Büro Pirkl	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor FBVA Arsenal zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Vorarlberg	2002	Teams Büro Pirkl	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor GBA zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Kärnten	2005	Teams GBA und Büro Pirkl	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor GBA zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Steiermark	2007	Teams GBA	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor GBA zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).
Wien	2008	Teams GBA	Vortrocknung in gut durchlüfteten Räumen im Gelände; Übergabe der Proben an Labor GBA zur weiteren Bearbeitung (Trocknung, Siebung).

Tab. 5. Bundesländerprojekte; Struktur, Probenahme und Probenaufbereitung.

Für die konkrete Beprobung in den Bundesländerprojekten galten prinzipiell dieselben fachlichen und technischen Vorgaben wie im Beprobungsteil Böhmisches Mass und Zentralzone. Die Aufgabenstellung am jeweiligen Probepunkt wurde jedoch stark erweitert:

- Neben der Probenahme für die Erfassung der Kornfraktion < 0,18 mm wurde eine zusätzliche Probe gewonnen, mit der die Kornfraktion < 0,04 mm erfasst werden sollte. Diese Probe wurde an Stellen im Gewässer gewonnen, an denen Feinsediment überwiegt (insbesondere Sediment in Stillwasserbereichen).
- Messungen am Beprobungspunkt von Lufttemperatur sowie Wassertemperatur, elektrischer Leitfähigkeit, pH-Wert und Eh-Wert sowohl in der fließenden Welle, als auch im wassergesättigten Sediment (an der noch nicht dekantierten Probe).
- Da auch große Gebiete in kalkalpinen Abschnitten zu beproben waren, wurde bereits im Vorfeld festgehalten, dass auch alle trockengefallenen Gerinne (nach Beprobungsplanung) zu beproben wären. Wenn an diesen Punkten mit zu wenig Feinsediment zu rechnen war, wurde eine zusätzliche Anreicherung durch Trockensiebung < 0,18 mm am Probepunkt ausgeführt.
- Zur externen Laborkontrolle wurde eine Doppelprobenahme (am jeweiligen Probepunkt) etwa an jedem 50. Probepunkt vorgesehen.

Gegenüber der fachlichen Planung und Vorgaben für die Probenahme und der weiteren Probenbehandlung gab es in der konkreten Durchführung zwei Abweichungen:

- Im Rahmen der Projekte Niederösterreich und Oberösterreich wurden am Beprobungspunkt nur ein Teil der vorgesehenen Messungen an der fließenden Welle und dem wassergesättigten Sediment ausgeführt. Der Grund lag bei Kommunikationsproblemen zwischen Projektleitung und Probenehmersteam.
- Im Zuge aller Bundesländerprojekte wurde auch die Probenahme für die Kornfraktion < 0,04 mm ausgeführt. Die volle Probenaufbereitung und Analytik für diese Proben konnte aber nur in den Bundesländern Niederösterreich, Vorarlberg, Kärnten, Steiermark, Burgenland und Wien durchgeführt werden. Für das Bundesland Oberösterreich erfolgte zwar die Siebung und Probenaufbereitung für die Kornfraktion < 0,04 mm, aber keine Analytik. Im Rahmen der Bundesländerprojekte Salzburg und Tirol war keine entsprechende

Probenbehandlung der Kornfraktion < 0,04 mm möglich. Grund waren fehlende finanzielle Mittel. Die entsprechenden Proben werden aber im Probenarchiv der Geologischen Bundesanstalt gesichert aufbewahrt!

Da unterschiedliche Labors mit der Probenbehandlung und Probenaufbereitung im Rahmen der verschiedenen Projekte betraut waren, werden die Arbeitsschritte, so wie sie z.B. durch das Labor der Geologischen Bundesanstalt für die Steiermark-Proben getätigt wurden, beispielhaft aufgeführt:

Die befüllten Probensäckchen wurden in geeigneten Räumen an der Luft vorgetrocknet und nach Anlieferung an das Labor der Geologischen Bundesanstalt bei Raumtemperatur (< 30 °C, um Hg-Verlust vorzubeugen) während mehrerer Wochen auf einen Wassergehalt von < 2 M-% getrocknet. Die getrockneten Proben wurden danach in einem Porzellanmörser vorsichtig zerdrückt, aber nicht gemahlen und in rostfreien Stahlsieben (DIN 4188) auf einer Siebmaschine (Vibration) 10 min (max. 20 min) trocken gesiebt. Das Eingangsgewicht und das Gewicht der jeweiligen Siebfraktionen wurde protokolliert und der Gewichtsanteil (M-%) < 0,18 mm sowie < 0,04 mm errechnet.

Das Siebgut (< 0,18 mm und < 0,04 mm) wurde in jeweils zwei 50 ml-Polyäthylenfläschchen (Fa. Nalgene) gefüllt; der Inhalt des ersten Fläschchens wurde für die Analytik verwendet und das zweite Fläschchen als Rückstellprobe aufbewahrt.

Analytik

Die erweiterten Ziele der Bach- und Flusssedimentgeochemie in den Bundesländerprojekten erforderten auch eine Erweiterung bei dem zu analysierenden Elementenspektrum. Das Analytikspektrum umfasste 43 Elemente (Tab. 6) – um acht mehr als im ersten Programmteil. Die analysierten Spurenelemente wurden um sieben Elemente ergänzt, die insbesondere für umweltgeochemische Aussagen notwendig sind (Tab. 7). Bei den Hauptelementen wurde zusätzlich Silicium (Si) analysiert.

Einschränkend ist festzuhalten, dass im Rahmen des Projekts Niederösterreich die Elemente Chlor und Lithium nicht bestimmt wurden. Demgegenüber wurde besonders im Niederösterreich-Projekt versucht, die neuen Möglichkeiten der Analytik auszureizen und bei einer Reihe von Elementen sehr niedrige Bestimmungsgrenzen zu erreichen. Leider führte das zu Problemen bei der Kompatibilität mit den angrenzenden Beprobungsgebieten in Ober-

Hauptelemente	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P							
Spurenelemente	Ag	As	Ba	Be	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Cu	F	Ga	Hg	La	Li	Mo	Nb
	Ni	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr	

Tab. 6. Liste der im Rahmen der Bundesländerprojekte analysierten Elemente.

Hauptelemente	Si						
Spurenelemente	Cd	Cl	F	Hg	Li	S	Se

Tab. 7. Elemente, die im Rahmen der Bundesländer neu zur Analytik vorgesehen wurden.

österreich und der Steiermark. Auf diese Probleme wird im Einzelnen bei der Ergebnisdiskussion der betreffenden Elemente eingegangen.

Die zusätzlich analysierten Elemente sind einerseits für umweltrelevante Fragestellungen von großer Bedeutung (Cadmium, Quecksilber), andererseits sind die Elemente Selen und Lithium vor allem ernährungsphysiologisch von Interesse. Durch die Erfassung der Elemente Silicium, Chlor und Schwefel gelingt eine verbesserte allgemeine Charakterisierung der Sedimentmatrix (z.B. Schwefel als Indikator für Gips oder sulfidische Vererzungen).

Da im Zuge der Bundesländerprojekte bei den einzelnen Analytikschritten im Detail etwas andere Vorgangsweisen als im ersten Programmteil gewählt wurden, werden diese Arbeitsschritte im Folgenden beschrieben, wie sie weitgehend übereinstimmend für die Bundesländerbeprobungen ausgeführt wurden.

Trocken- und Glühverlust

Der Gehalt der lufttrockenen Siebfractionen (< 180 µm und < 40 µm) an adsorbiertem Wasser wurde in Anlehnung an die ÖNORM B 4410 (1974) durch Ofentrocknung bei 105 °C über Nacht bestimmt. Die Bestimmung des Gewichtsverlustes zwischen 105 °C und 360 °C (2 Stunden, Abkühlen im Exsikkator) im Muffelofen wurde als einfache Methode zur Bestimmung des Gehaltes an organischer Substanz herangezogen. Aus früheren Studien unter Einsatz der Differentialthermogravimetrie (DTG) und der Analyse des organischen Kohlenstoffs hat sich diese Vorgangsweise als brauchbar erwiesen. Die organische Substanz der Flusssedimente wird in diesem Temperaturbereich fast vollständig oxidiert, wenn nicht massiv Steinkohlenstaub in der Probe vorliegt. Allerdings ist stets darauf Bedacht zu nehmen, dass ebenfalls Eisenhydroxide und Schichtsilikate (vor allem aufweitbare 3-Schicht-Tonminerale) in diesem Temperaturbereich Wasser abgeben. Es besteht daher die Gefahr, an Hand des Glühverlustes

105 °C und 360 °C den Gehalt der Bachsedimentproben an organischer Substanz etwas zu überschätzen. Der Gewichtsverlust zwischen 360 °C und 1.000 °C entspricht hauptsächlich dem Verlust von Kristallwasser der Schichtsilikate und dem CO₂-Verlust der Karbonate.

Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA)

Das Probenmaterial wurde bei 105 °C getrocknet. Ungefähr 5 g des fein gepulverten Materials wurden in einer halbautomatischen Tablettenpresse mit einem Druck von 20 Tonnen in einem Bett aus Borsäure zu Tabletten (40 mm Durchmesser) verpresst. Die Probenbezeichnung wurde unverwischbar auf den Borsäurerücken geschrieben.

Die Analytik erfolgte mit einem wellenlängendispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometer Philips PW2400 (Anregungsspannung 60 kV, Anodenmaterial der Röntgenröhre Rh, Analysatorkristalle LiF200, LiF220, Ge, PET und ein Multilayerkristall PX1, Durchfluss-, Xe-gefüllter Detektor und Szintillationsdetektor) mit automatischem Probenwechsler (Philips PW 2510, 102 Positionen). Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit einem Rechner unter Einsatz des Softwarepaketes X47. Darüber hinaus wurde fallweise das Softwarepaket UNIQUANT Ver. 3.23 eingesetzt.

Die RFA stellt eine Analysemethode dar, bei der die Messergebnisse der zu analysierenden Proben mit den Ergebnissen, die durch die Messung von Proben bekannter Zusammensetzung erhalten werden, korreliert werden. Es gelangte eine Vielzahl von verschiedenen international zertifizierten Referenzmaterialien zum Einsatz. Etwa 10 % der gemessenen Proben waren Qualitätskontrollproben.

Zum Ausgleich einer gerätebedingten Drift wurden regelmäßig Monitorproben gemessen. Bei Abweichungen erfolgte eine Nachjustierung.

Folgende Elemente der Fluss- und Bachsedimentproben wurden mittels RFA gemessen (Tab. 8):

Hauptelemente	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P						
Spurenelemente	Cl	F	S	Ba	Cr	Ga	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Th	V	Y	Zn	Zr

Tab. 8.
Mittels Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA) gemessene Elemente.

Nasschemische Analytik (ICP-MS)

Für die nasschemischen Analysen wurden folgende Aufschlussverfahren angewendet:

Königswasserauszug nach ÖNORM L 1085 (1989):
2 g der feingemahlten Fraktionen (< 180 µm und < 40 µm) wurden mit 5 ml HNO₃ und 15 ml HCl in einer eigens dafür konzipierten Aufschlussapparatur mit Rückflusskühlung gekocht und mit H₂O auf 100 ml aufgefüllt.

Vollaufschluss:

100 mg der feingemahlten Fraktionen (< 180 µm und < 40 µm) wurden mit 2,5 ml HClO₄ + 2,5 ml HNO₃ und ca.

10 ml HF abgeraucht, bis fast zur Trockene eingedampft, mit 5 ml HNO₃ aufgenommen und mit H₂O auf 100 ml aufgefüllt.

Die Analytik erfolgte mittels ICP-MS (induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie) mit einem Gerät der Type Perkin Elmer Elan 5000 A.

Für die Bestimmung von Elementen mit ICP-MS wurden die Proben nach einem Vollaufschluss eingesetzt. Damit wurden folgende Parameter bestimmt (Tab. 9):

Spurenelemente	Ag	As	Be	Cd	Ce	Co	Cu	La	Li	Mo	Sb	Sc	Sn	U	W
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---

Tab. 9.
Mittels induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) gemessene Elemente.

Selen und Quecksilber wurden durch Hydridentwicklung im kontinuierlichen Flussbetrieb aus dem Königswasser- auszug mittels Natriumborhydrid ebenfalls mit ICP-MS gemessen.

Dokumentation

Die Randbedingungen der Projektbewilligung und der jeweiligen Finanzierung führten dazu, dass die Forschungsprojekte streng getrennt nach Bundesländern bearbeitet

und dokumentiert wurden. Für jedes Bundesland liegen dabei oft mehrere Berichtsteile vor. Auch die Auswertungs- und Interpretationsinhalte und deren Bearbeitungstiefe können sich je nach Bundesland unterscheiden, da sie nach den Wünschen und Anforderungen der Auftraggeber in den Bundesländern ausgerichtet wurden. Erst mit der gegenständlichen Publikation werden die Daten, Ergebnisse und Erfahrungen zusammengeführt.

	„Geochemischer Atlas“	Nieder- österreich	Ober- österreich	Salzburg	Tirol	Vorarlberg	Burgen- land	Kärnten	Steiermark	Wien
Si	nb	0,094 %	0,55 %	0,33 %	0,1 %	1,07 %	9,1 %	0,44 %	0,22 %	11,5 %
Ti	< 0,05 %	0,015 %	0,015 %	0,002 %	< 0,01 %	0,01 %	0,13 %	0,01 %	0,009 %	0,18 %
Al	< 0,05 %	0,053 %	0,11 %	0,08 %	0,1 %	0,32 %	1,3 %	0,1 %	0,21 %	3,33 %
Fe	< 0,01 %	0,09 %	0,09 %	0,12 %	0,07 %	0,16 %	1,2 %	0,08 %	0,04 %	1,47 %
Mg	< 0,05 %	0,18 %	0,2 %	0,39 %	0,39 %	0,19 %	0,34 %	0,68 %	0,37 %	0,78 %
Mn	< 0,015 %	0,002 %	0,005 %	0,077 %	< 0,01 %	0,006 %	0,02 %	0,007 %	0,007 %	0,07 %
Ca	< 0,01 %	0,54 %	0,48 %	0,16 %	0,3 %	0,55 %	0,3 %	0,28 %	0,15 %	4,29 %
Na	< 0,1 %	0,022 %	0,004 %	0,02 %	< 0,02 %	0,01 %	0,2 %	< 0,01 %	0,02 %	0,1 %
K	< 0,05 %	0,02 %	0,013 %	0,018 %	0,02 %	0,1 %	0,44 %	0,02 %	0,03 %	0,68 %
P	< 0,05 %	0,01 %	0,006 %	0,004 %	< 0,01 %	0,005 %	0,03 %	< 0,004 %	0,004 %	0,039 %
Ag	< 0,02	< 0,05	0,026	0,01	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
As	< 2	0,1	1	1	< 1	1	< 1	1	< 1	3
Ba	< 10	5	5	10	< 10	15	69	15	< 10	207
Be	< 1	< 0,05	0,08	0,1	< 0,3	< 0,3	0,5	< 0,3	< 0,3	0,6
Cd	nb	< 0,05	0,1	0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1
Ce	< 10	13	2,12	0,22	1	2,2	18	1,5	< 1	22
Cl	nb	nb	16	50	< 50	50	< 50	< 50	< 50	38
Co	< 3	0,5	0,7	0,5	0,7	0,8	3,1	0,7	0,6	6
Cr	< 10	7	2	4	< 4	4	26	5	< 4	38
Cu	< 3	0,5	1	0,5	1	1,5	6	1	< 1	21
F	nb	< 150	50	150	< 150	102	251	< 150	< 150	263
Ga	< 3	0,5	2	4	< 4	4	< 4	< 4	< 4	8
Hg	nb	< 0,01	0,008	0,01	< 0,01	0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,04
La	< 10	< 1	1	0,49	< 1	1,2	9	< 1	< 1	11
Li	nb	nb	1,27	0,99	< 4	4,3	9	< 4	< 4	19
Mo	< 0,1	< 0,5	0,1	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Nb	< 5	0,5	2	4	< 4	4	< 4	< 4	< 4	6
Ni	< 5	6	2	4	< 4	4	10	< 4	< 4	26
Pb	< 3	7	5	4	< 4	15	12	17	< 6	31
Rb	< 10	8	4	5	6	11	27	5	< 5	45
S	nb	< 50	138	100	< 100	100	< 100	< 100	< 100	473
Sb	< 2	0,025	0,35	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6
Sc	< 1	0,25	0,12	0,01	< 0,5	< 0,5	3,2	< 0,5	< 0,5	4
Se	nb	0,025	0,08	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,19
Sn	< 1	0,4	0,4	0,5	< 0,5	< 0,5	0,9	< 0,5	< 0,5	1,9
Sr	< 10	58	39	40	39	60	56	23	< 19	212
Th	< 10	3	2	4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
U	< 5	0,5	0,38	0,01	< 0,4	0,8	< 0,4	0,7	< 0,4	1
V	< 10	0,5	9	5	7	9	29	5	< 4	38
W	< 1	0,5	0,1	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6
Y	< 10	6	5	4	< 4	4	10	< 4	< 4	8
Zn	< 5	6	13	5	< 5	11	32	11	< 6	71
Zr	< 10	18	10	22	11	11	57	20	15	74

Tab. 10. Bach- und Flusssedimentgeochemie < 180 µm / alle Programmteile – Vergleich der Bestimmungsgrenzen oder der kleinsten gemessenen Konzentrationen (Spurenelemente in ppm). nb = Element wurde nicht gemessen.

Aktuell sind alle Beobachtungs-, Mess- und Analysedaten in Datenbanken an der Geologischen Bundesanstalt digital dokumentiert und gesichert. Auch sind alle noch vorhandenen Originalproben (z.B. nicht aufbereitete Proben für die Kornfraktion $< 0,04$ mm) sowie alle Rest- und Rückstellproben des gesamten Programms im Probenarchiv der Geologischen Bundesanstalt erfasst und gelagert.

Wie schon mehrfach erwähnt, ergaben sich in den Teilprojekten für mehrere Elemente unterschiedliche Bestimmungsgrenzen. In Tabelle 10 sind die entsprechenden Daten aller Projekte aufgelistet. Diese Unterschiede haben mehrere Gründe:

- Die Entwicklung der Analysegeräte während der langen Programmdauer; Trend zu viel niedrigeren Nachweisgrenzen.

- Die Situation, dass in Teilprojekten die Projektleitung und das Labor in der gleichen Institution situiert waren. Dabei trat die interne Projektkontrolle in den Hintergrund; das Labor hatte einen größeren Gestaltungsspielraum (auch für Experimente).
- Zum Teil sehr unterschiedliche Zusammensetzung und Matrix der Probensets je nach Projektgebiet.

Die Problematik der zum Teil stark variierenden Bestimmungsgrenzen wirkt sich auch auf die zusammenfassende, flächendeckende Datendokumentation in Kartenform aus. Aus diesem Grund können einige Elemente nicht dargestellt werden. Entsprechende Hinweise und die Diskussion dieser Probleme erfolgen im Rahmen der Einzelelementbeschreibungen.

4 Programmübergreifende Erfahrungen

(HERBERT PIRKL)

4.1 Interne und externe Kontrolle

Der rasche Programmstart und die entsprechende Probenahmeplanung gingen von der Annahme aus, dass die Laborkapazität ausreichend ist. Schon im ersten Projektjahr (1978) wurden Engpässe sowohl bei der Probenaufbereitung im Labor, als auch bei bestimmten Analysenschritten deutlich. Grund war, dass der vorgesehene Ausbau des Labor-Equipments und dessen Routineeinsatz nicht schnell genug vor sich ging. Für die Planung des zweiten Projektjahres (1979) stand zwar die Gewichtskontrolle der Probemengen zur Verfügung, Analyseergebnisse jedoch nur für ausgewählte Proben und dabei auch nur für wenige

Elemente. Die vorliegenden Zwischenergebnisse erlaubten keine ausreichende Diskussion über die Qualität der Analytik. Die interne Programmdiskussion zu diesem Zeitpunkt formulierte folgende Maßnahmen, um die vernetzten Ziele trotzdem erreichen zu können:

- Für Projekteile in der Zentralzone wird eine Prospektionsanalytik vorgezogen (Beschränkung auf prospektionsrelevante Elemente; Analytik der Metallelemente im Königswasserauszug).
- Rascher Aufbau der modernen Laborkapazität für Großserienanalytik (ICP-OES und XRF).

Vergleichsdaten	nähere Beschreibung	Aussagemöglichkeit
Mehrfachproben Bachsedimente	Doppel- und Dreifachproben aus dem Bereich der Zentralalpen von 20 Probepunkten.	Laborkontrolle
Vierfach Proben Bachsedimente	Vierfach-Teilung von 4 Proben.	Laborkontrolle und Teilungsqualität
Sechsfach Proben Bachsedimente	Sechsfach-Teilung von 15 Proben.	Laborkontrolle und Teilungsqualität
Vergleichsbeprobung BGS / VA Bachsedimente	Beprobung nach a) System, British Geological Survey (BGS) und b) System GBA / VA an 12 Probepunkten in den Zentralalpen; Analytik sowohl beim Britischen Geologischen Dienst als auch im Labor des Geotechnischen Instituts Arsenal.	Vergleich Probenahme-Methodik und Laborvergleiche
Wiederholungsbeprobung 1982 Bachsedimente	An 680 Probepunkten in den Zentralalpen der Beprobung 1980 wurde eine weitere Beprobung 1982 vom gleichen Probenehmer durchgeführt.	Kontrolle Probenahme; Laborkontrolle
Wiederholungsbeprobung Blatt 180 Winklern Bachsedimente	An 255 Probepunkten auf dem ÖK Blatt 180 Winklern erfolgten Probenahmen sowohl von Teams der BBU als auch der VA.	Kontrolle Probenahme; Laborkontrolle
Kontrollbeprobung 1983 in drei Einzugsgebieten; mehrere Probemedien	Durch Teams von FGJ / Leoben wurden in drei Einzugsgebieten der Zentralzone Beprobungen von Bachsedimenten, Böden und Gesteinen durchgeführt. Multielementanalytik analog Geochemischer Atlas; geostatistische Auswertung mit verschiedenen Methoden.	Kontrolle Probenahme; Laborkontrolle; Kontrolle der Verfahrensvarianz
Kontrollanalytik 1986 Schwermineralproben	An 115 Schwermineralproben aus der Böhmischen Masse wurde die Analytik sowohl im Labor des Geotechnischen Instituts Arsenal als auch von der Fa. Bondar Clegg / Canada ausgeführt.	Laborvergleiche
Kontrollbeprobung 1987 Bachsedimente und Schwermineralproben	Im Rahmen einer komplexen Probenahme in verschiedenen geologischen Einheiten wurden an 125 Probepunkten auch Bachsediment- und Schwermineralproben gleichzeitig gewonnen.	Vergleich Probemedien; Laborkontrolle
Analytikvergleich Bachsedimente	An den Proben von 9.560 Probepunkten in den Zentralalpen wurden sowohl eine Prospektionsanalytik (ausgewählte Elemente, Teilaufschlüsse), als auch eine Vollaufschluss-Multielement-Analytik im Labor des Geotechnischen Instituts Arsenal ausgeführt.	Vergleich verschiedener Analysemethoden; Laborkontrolle
Doppelproben Bachsedimente Bundesländerprojekte	Im Rahmen der Bundesländerprojekte wurde ca. an jedem 50. Probepunkt eine Doppelprobe gewonnen.	Laborkontrolle
Korngrößenvergleich Bachsedimente Bundesländerprojekte	Im Rahmen der Bundesländerprojekte Niederösterreich, Vorarlberg, Kärnten, Steiermark und Burgenland wurden sowohl die Proben der < 180 µ- als auch der < 40 µ-Fraktion analysiert.	Vergleich Probemedien; Laborkontrolle

Tab. 11.
Projektteile und Arbeitsschritte zur internen und externen Projektkontrolle.

- Laborinterne Qualitätskontrolle nicht nur über die Gerätestandards, sondern auch mit Hilfe eines Standards, der aus einer Großprobe gewonnen wird („Donau-Standard“).
- Etwas verzögerte Gesamtgehalt-Multielementanalytik aller Proben nach Abschluss des Laborausbaus.

Parallel zu diesem Ausbau der Laborkapazitäten wurden auch zahlreiche Maßnahmen zur externen Laborkontrolle entwickelt. Daneben wurde auch eine Reihe an Aktivitäten gesetzt, immer wieder die Gesamtmethodik an verschiedenen Schnittstellen zu überprüfen. In Tabelle 11 sind die

wichtigsten, diesbezüglichen Arbeitsschritte und -inhalte aufgelistet.

Zur näheren Erläuterung dieser Tabelle werden wichtige Ergebnisse von Vergleichs- und Kontrollanalysen im Folgenden diskutiert.

Mehrfachprobenahmen

Innerhalb der Zentralzone – mit Gebietsschwerpunkten in Osttirol und den Kitzbüheler Alpen – wurden in den Jahren 1978 und 1979 an 20 Probenpunkten Doppel- oder Dreifachproben gewonnen. Diese wurden anonym in die sys-

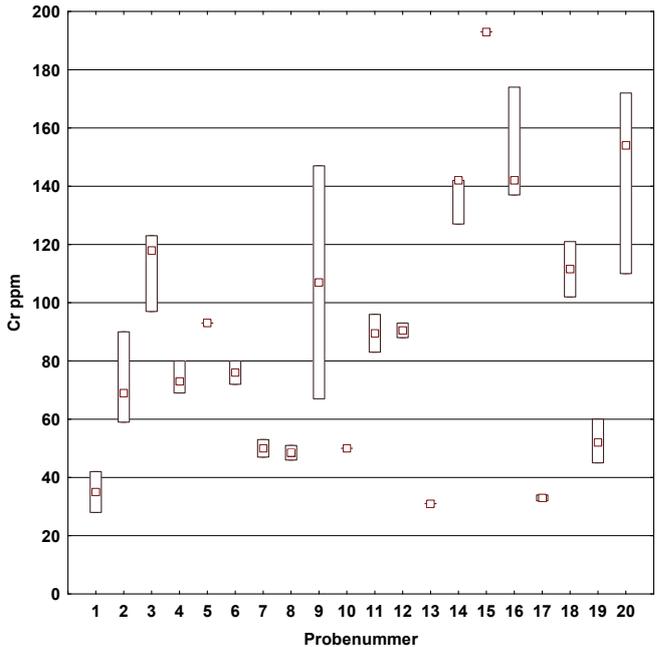
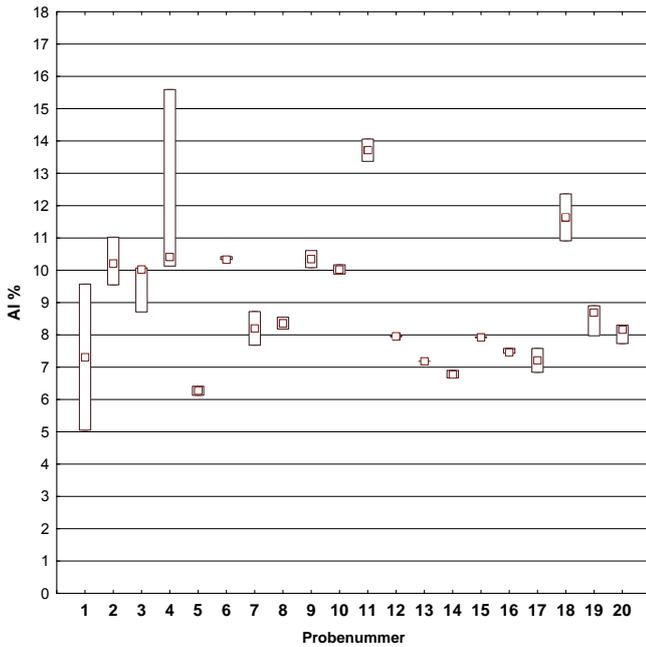


Abb. 13. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Mehrfachprobenahme; Streuung innerhalb der Mehrfachproben, links: Al, rechts: Cr.

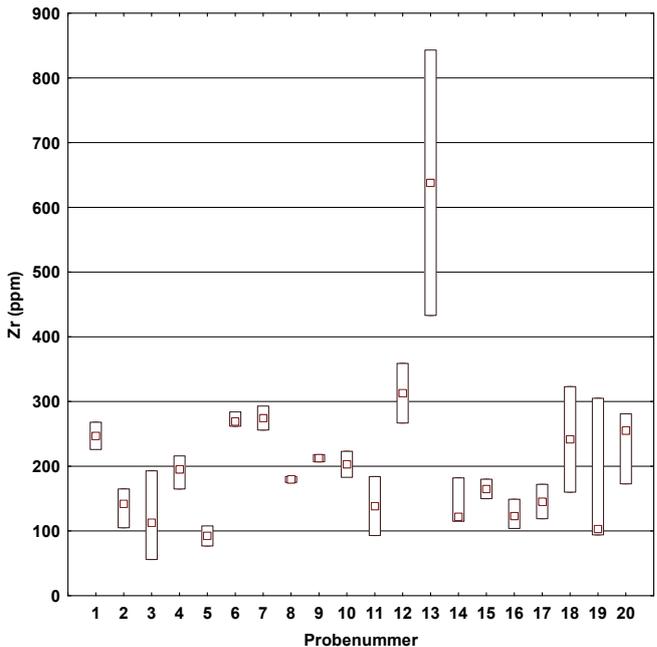
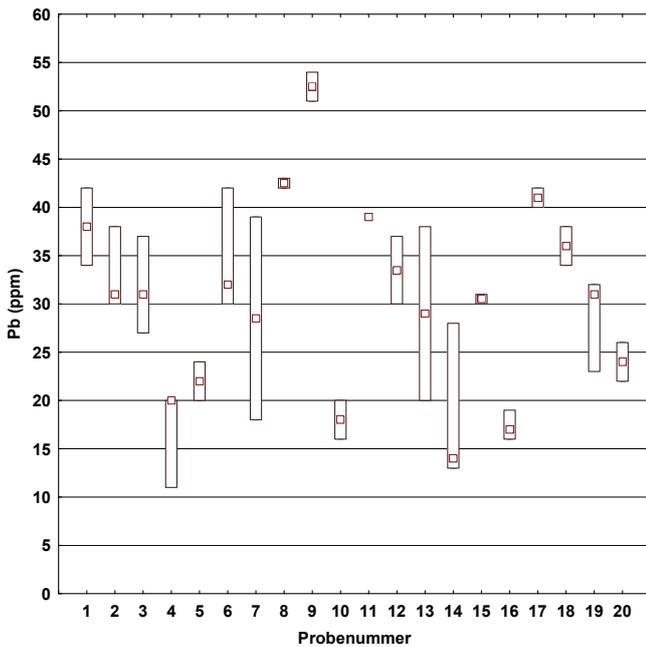


Abb. 14. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Mehrfachprobenahme; Streuung innerhalb der Mehrfachproben, links: Pb, rechts: Zr.

tematische Probenbehandlung und Analytik eingeordnet. In den Abbildungen 13 und 14 sind als Ergebnisbeispiele die Streuung in den einzelnen Proben für die Elemente Aluminium, Chrom, Blei und Zirkonium dargestellt. An den meisten Proben liegt nur eine geringe Streuung vor. Nur bei zwei Proben lässt die höhere Streuung bei Aluminium darauf schließen, dass bei der Probenahme Sedimente mit etwas unterschiedlicher Charakteristik hinsichtlich des Feinstsedimentanteils gewonnen wurden, oder der Feinanteil in diesen Bachsedimenten sehr wechselhaft war. Elemente, die überwiegend mit Schwermineralen in den Bachsedimenten verknüpft sind, können aufgrund der kleinräumigen Inhomogenitäten im Sediment eine höhere Streuung aufweisen. Insgesamt ist für diese Mehrfachprobenahme festzuhalten, dass ein Probenkollektiv von 20 Proben zu klein ist, um entscheiden zu können, ob Streuungen in den Analysen auf Probenahme-Randbedingungen oder „Laborfehler“ zurückzuführen sind.

Vier- und sechsfach geteilte Proben

Einen anderen Zugang zur Laborkontrolle ermöglichen geteilte Proben, die mit unterschiedlichen Probennummern in die Analytikserien eingeordnet werden. Dies wurde im Jahr 1982 mit vier- und sechsfach geteilten Proben versucht. Die jeweils größeren Probemengen von Probepunkten in der Zentralzone wurden getrocknet, auf < 0,18 mm gesiebt und mit einem professionellen Probenteiler in vier oder sechs Subproben aufgeteilt. Aus den Analyseergebnissen der 15 sechsfach geteilten Proben lassen sich zwei Hauptschlüsse ableiten:

a. Die Hauptelementverteilungen charakterisieren die Lithologie der Proben sehr gut. Dies ist deutlich zu sehen an der Tatsache, dass z.B. auch bei geringen Konzentrationen sich mit hoher Trennschärfe eine deutliche Gruppenbildung abzeichnet, die eindeutig den Einzelproben zugeordnet werden kann (Abb. 16). Die Qualität

der Hauptelementanalytik spiegelt sich auch in den geringen Unterschieden der Streuung zwischen den Subproben wider (Abb. 15, linke Grafik).

b. Im Gegensatz dazu sind aber große Unterschiede in den Konzentrationen und den jeweiligen Streuungen zwischen den Subproben bei Elementen mit Bezug zu Schwermineralen festzustellen (Abb. 15, rechte Grafik). Letzteres lässt darauf schließen, dass auch professionelle Probenteilung mit Fehlern behaftet sein kann. Im Umkehrschluss muss man also davon ausgehen, dass sich auch professionell geteilte Proben nur eingeschränkt zur Laborkontrolle eignen.

Methodikvergleich Probenahme

Im Jahr 1982 konnte im Rahmen eines Austauschbesuches eines Mitarbeiters des British Geological Survey (BGS) dessen Arbeitsmethodik bei der Bachsediment-Probenahme für geochemische Kartierungen diskutiert werden. Im Raum Altenmarkt-Radstadt wurde diese Methodik an 12 Punkten ausgeführt und entsprechenden Proben nach der österreichischen Methodik gegenübergestellt.

Die Bachsedimentprobe nach Methodik BGS wurde durch in situ-Nasssiebung auf < 0,15 mm gewonnen, der Probenrest zwischen 2 mm und 0,15 mm mittels Saxe oder Schüssel auf den Schwermineralinhalt reduziert. Auf Grund dieser eher aufwändigen Manipulation am Probepunkt können mit dieser Vorgangsweise maximal vier bis fünf Probepunkte pro Tag bearbeitet werden, wenn diese leicht erreichbar sind. Für eine ökonomische Beprobung unter alpinen Verhältnissen eignet sich diese Methodik schon aus diesem Blickwinkel kaum.

Mit der Parallelprobenahme war auch eine Parallelanalytik im Labor des BGS und im Geotechnischen Institut Arsenal verbunden und damit war auch die Intention einer eventuellen Laborkontrolle verknüpft.

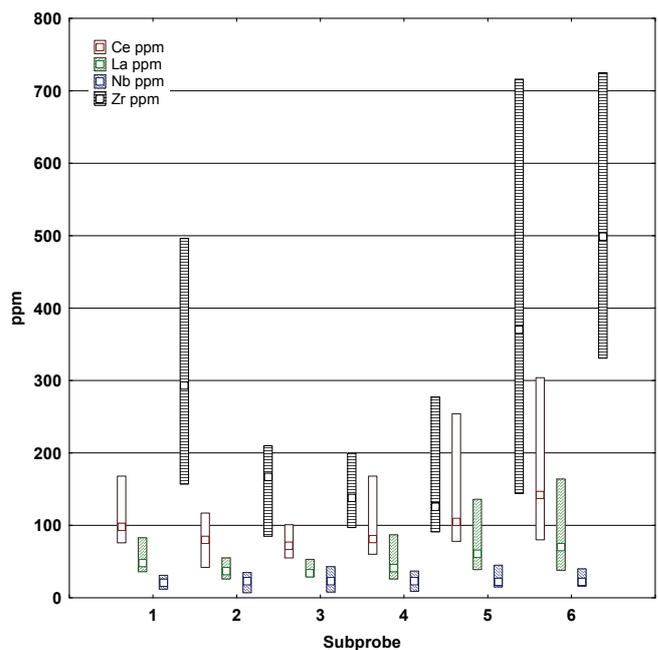
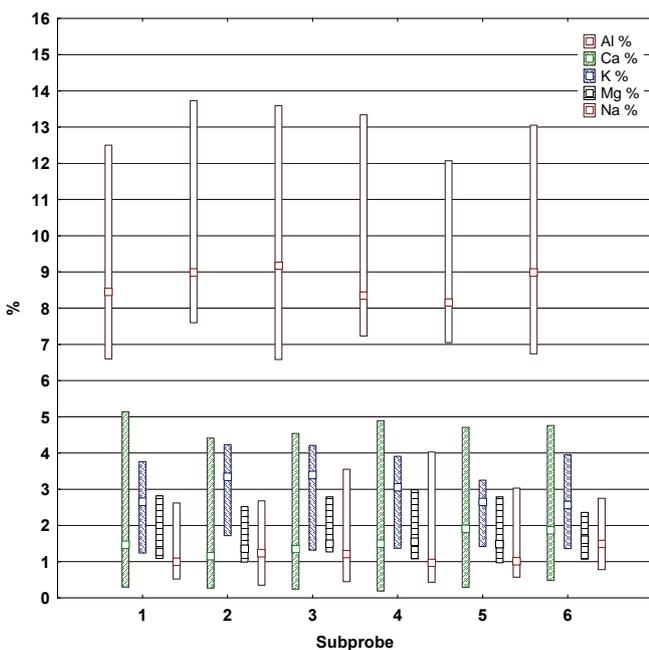


Abb. 15. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, sechsfach geteilte Proben; Streuung in den Subproben.

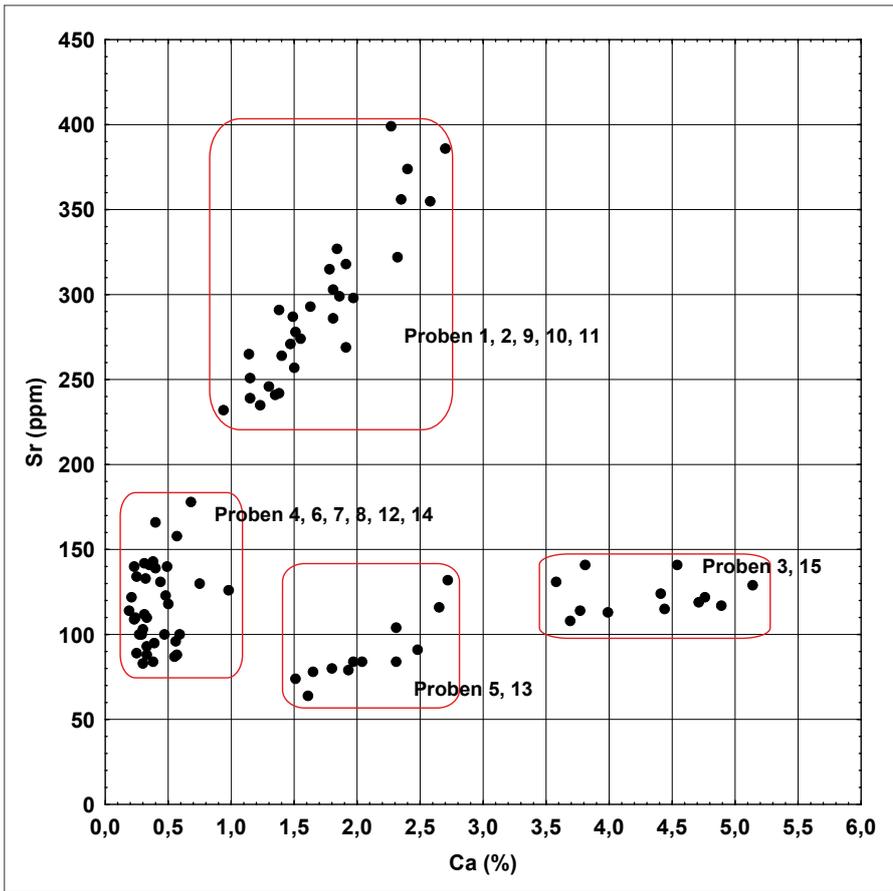


Abb. 16. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, sechsfach geteilte Proben; Ca/Sr-Verhältnisse.

Die Analyseergebnisse haben aber gezeigt, dass für alle Proben – nach beiden Probenahmemethoden – zwar eine prinzipielle Korrelation zwischen den beiden Laborergebnissen gegeben war, jedoch die jeweils gefundenen Konzentrationen im Labor des BGS immer höher lagen. Diese Aussage gilt praktisch für alle gemessenen Elemente

und verweist damit auf einen systematischen „Fehler“. Aus dem regionalen Vergleich scheinen die Werte aus dem Labor des Geotechnischen Instituts Arsenal plausibler zu sein. In Abbildung 17 sind die Labor-Korrelationen für Aluminium und Eisen als Beispiele dargestellt.

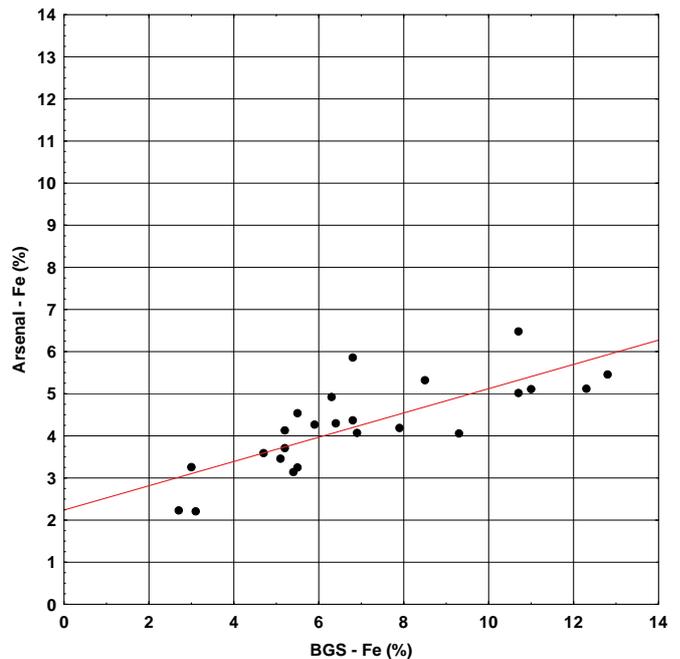
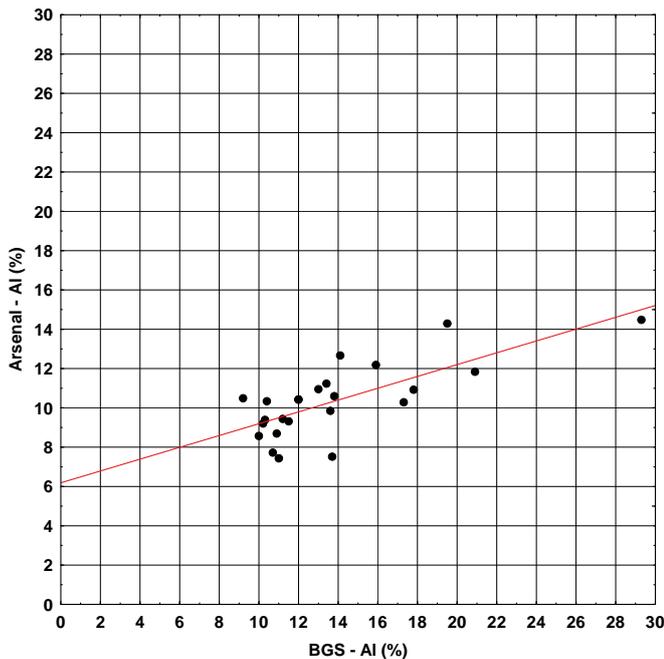


Abb. 17. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Vergleichsanalytik Geotechnisches Institut Arsenal / Labor British Geological Survey (BGS); links die Analytik-ergebnisse für Al, rechts jene für Fe.

Ein direkter Vergleich der Analyseergebnisse beider Labors ist also nicht möglich. Wenn die Analysen innerhalb eines Laborsystems ausgewertet werden, wird die Tatsache bestätigt, dass der Feinstsedimentanteil durch die BGS-Methodik zum Teil unverhältnismäßig angereichert wird. Dadurch erfolgt jedoch keine gleichmäßige Anreicherung von für die Prospektion interessanten Zielelementen, sondern eine Anreicherung je nach dem spezifischen Verwitterungsverhalten der jeweiligen lithologischen Einheiten im Einzugsgebiet. Falls beispielsweise auf Grund kurzer Transportstrecken Sulfidminerale eher in größeren Korngrößen anzutreffen sind, werden diese Prospektions-

informationen durch die BGS-Methodik verschleiert. Neben dem viel höheren Zeit- und Ressourcenaufwand ist dieser fachliche Bezug Grund dafür, dass die BGS-Methodik für alpine Einzugsgebiete mit komplexen morphologisch-geologisch-lithologischen Verhältnissen nicht einsetzbar erscheint.

Wiederholungsbeprobung 1982

Ebenfalls im Jahr 1982 wurden in verschiedenen Gebieten der Zentralalpen Wiederholungsbeprobungen an 680 Probepunkten organisiert und ausgeführt. Dabei wurde

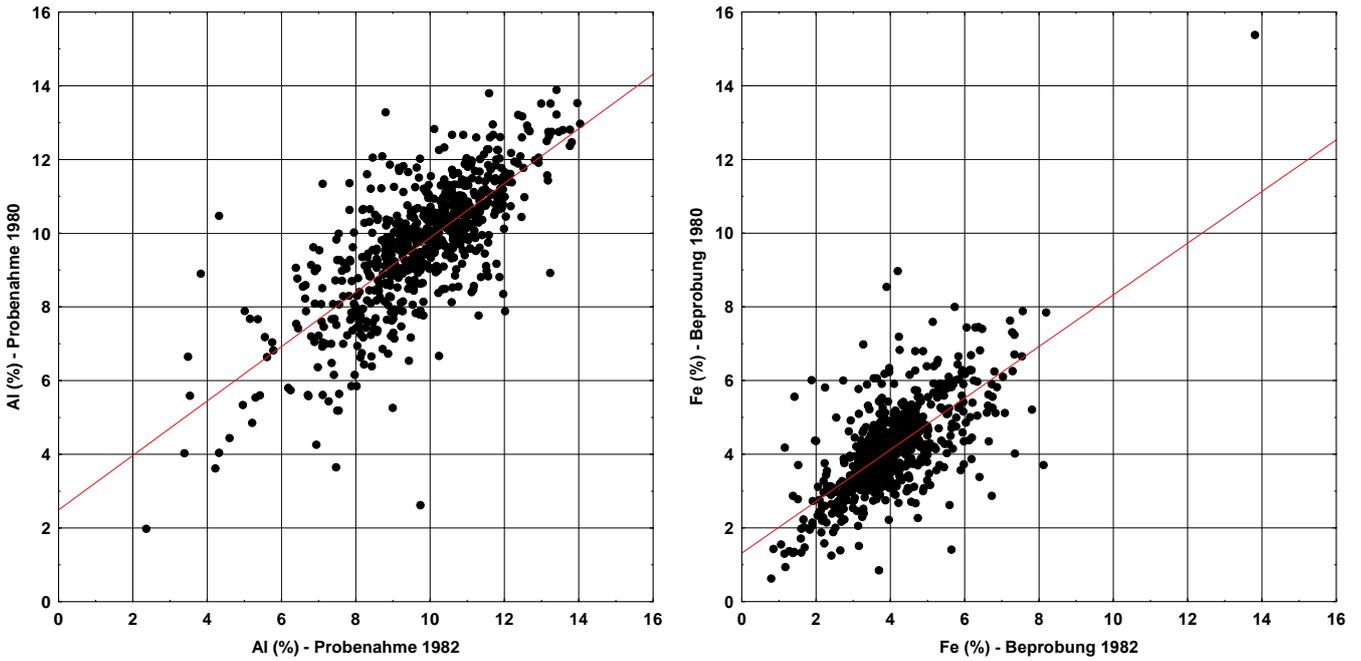


Abb. 18. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Wiederholungsbeprobungen 1982; Analysevergleiche, links: Al, rechts: Fe.

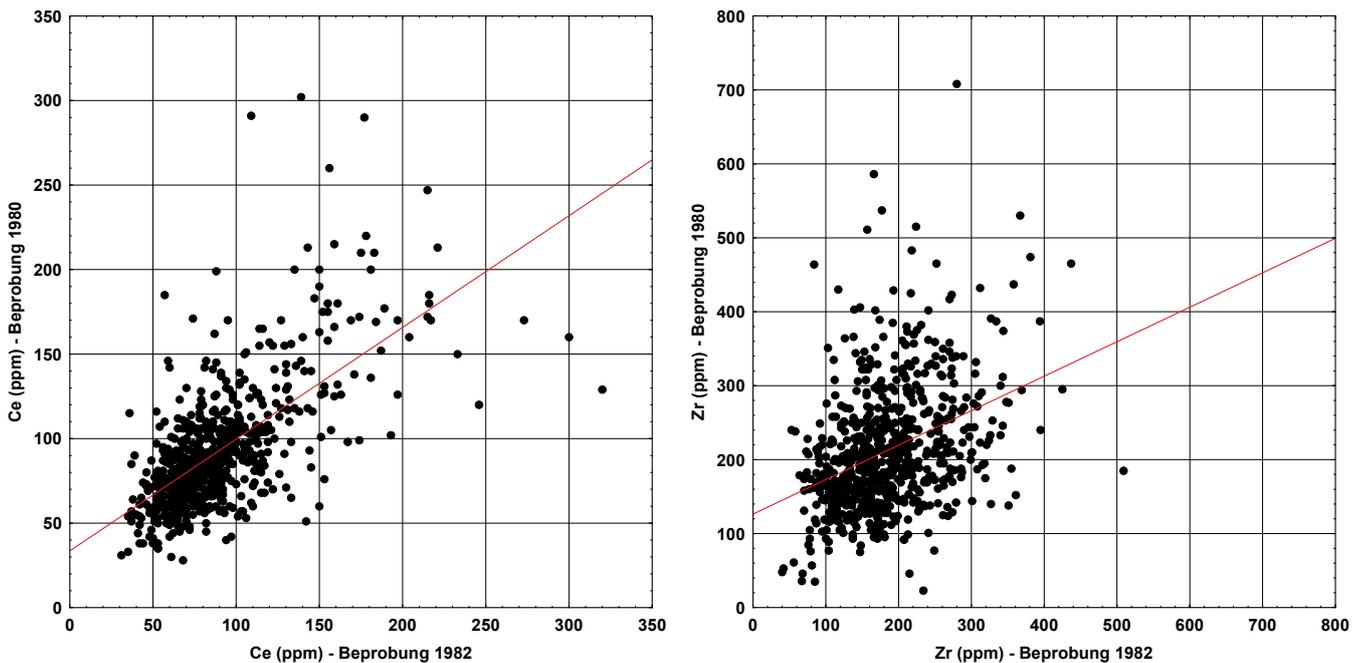


Abb. 19. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Wiederholungsbeprobungen 1982; Analysevergleiche, links: Ce, rechts: Zr.

das gleiche Probenahmeteam wie bei den Erstbeprobungen von 1980/1981 eingesetzt. Bei der Erstbeprobung mussten die Probepunkte mittels an Felsen aufgespritzten Nummern markiert werden. Diese Punkte waren bei der Wiederholungsbeprobung wieder aufzusuchen. Das stellte gleichzeitig die erste Kontrollaufgabe dar. Bei der Auswertung und Interpretation der Vergleichsanalytik können mehrere Hypothesen überprüft werden:

- Die Projektorganisation ging davon aus, dass die Schulung und Kontrolle der Probenehmer ausreichte, einen hohen Qualitätsstandard bei der systematischen Probenahme zu garantieren. Dies war zu überprüfen.
- Wenn die Probenahme prinzipiell eine sehr einheitliche Qualität ermöglicht, sollte mit den Wiederholungsbeprobungen auch eine Laborkontrolle verknüpfbar sein.

- Eine – in diesem System – zu beachtende Variable ist freilich eine höhere Variabilität in der Sedimentzusammensetzung durch unterschiedliche hydrologische Randbedingungen (z.B. turbulenter Abfluss bei Schneeschmelze und/oder Hochwasser; seitlicher Eintrag von Sediment durch Rutschungen u.a.). Schon innerhalb des Zeitraums eines Jahres kann sich damit die Sedimentcharakteristik am Probepunkt etwas verändert haben. Diese Tatsache ist zu bedenken!

Als Vergleichs- und Interpretationsparameter können herangezogen werden (Abb. 18–23):

- Die Verteilung der Hauptelemente.
- Die Verteilung der Spurenelemente (insbesondere mit Bezug zu Schwermineralen).
- Ergebnisvergleiche nach Probenehmer.

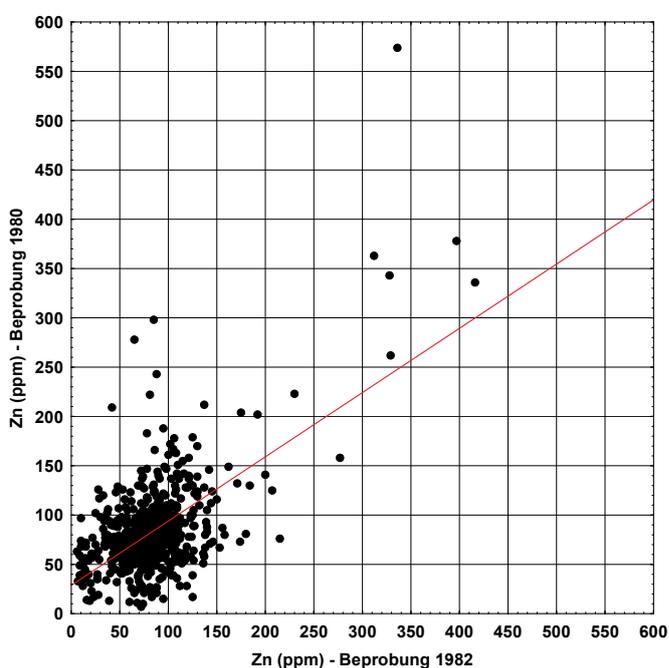
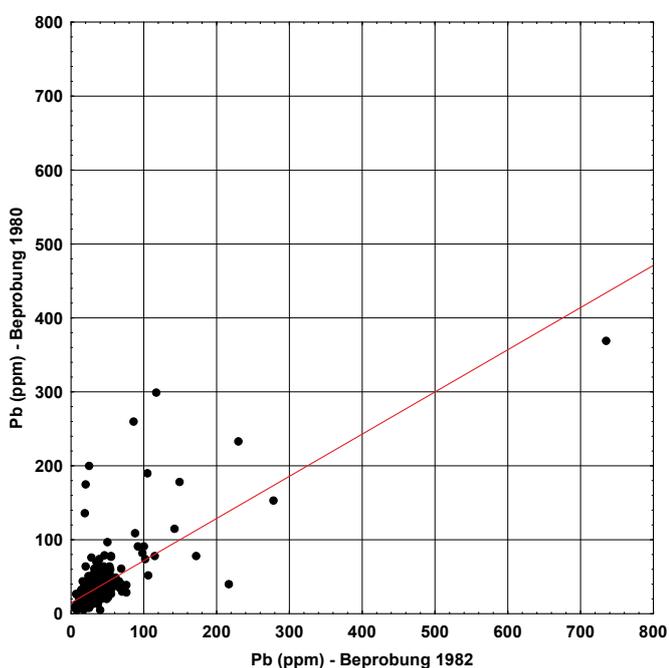


Abb. 20. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Wiederholungsbeprobungen 1982; Analysevergleiche, links: Pb, rechts: Zn.

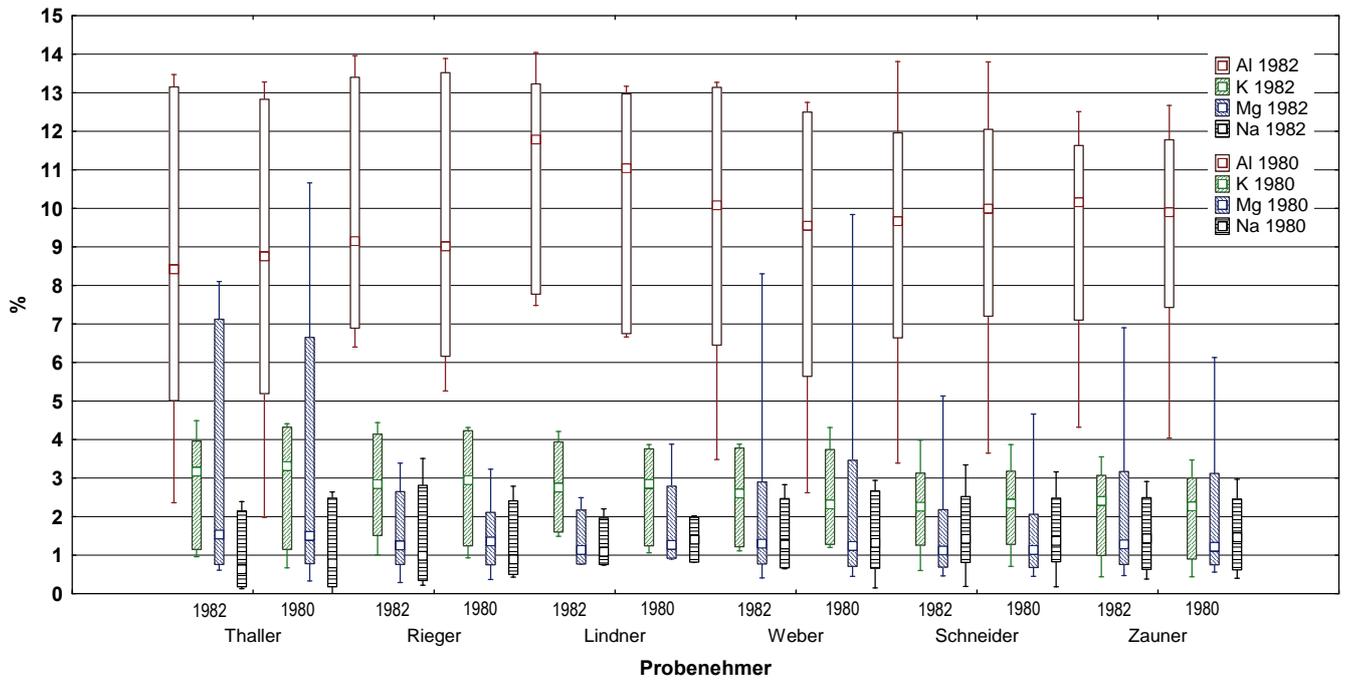


Abb. 21. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Wiederholungsbeprobungen 1982; Vergleiche der Ergebnisse pro Probenehmer für ausgewählte Hauptelemente.

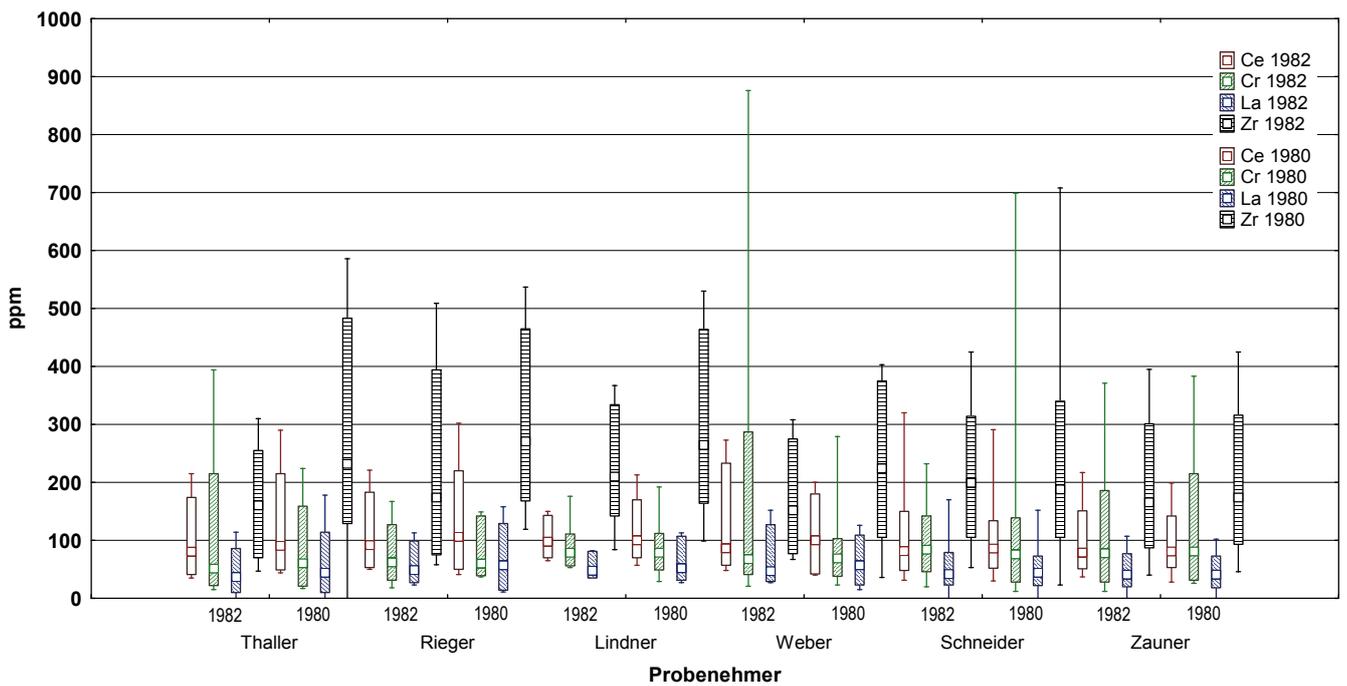


Abb. 22. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Wiederholungsbeprobungen 1982; Vergleiche der Ergebnisse pro Probenehmer für Spurenelemente mit Bezug zu Schwermineralen.

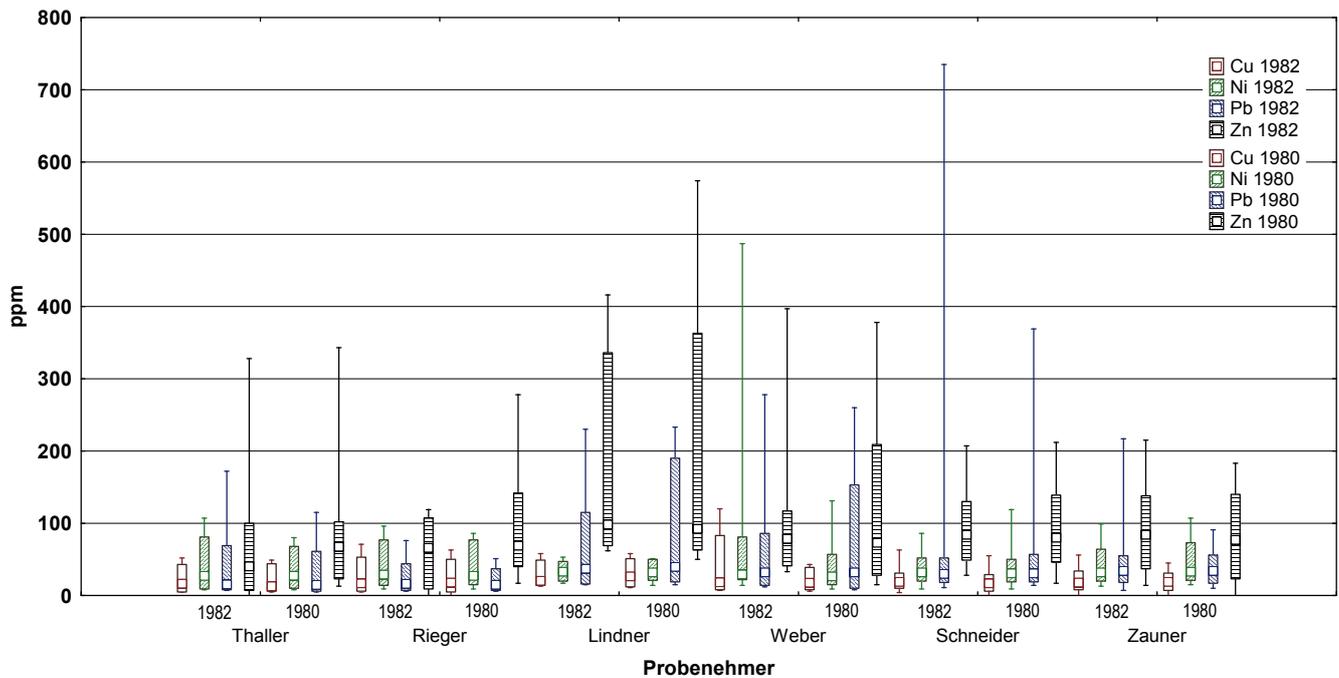


Abb. 23. Bach- und Flusssedimentgeochemie Zentralzone, Wiederholungsbeprobungen 1982; Vergleiche der Ergebnisse pro Probenehmer für ausgewählte Spurenelemente (Metalle).

4.2 Erfahrungen zur strukturellen und technischen Planung

Programme wie die bundesweite Bach- und Flusssedimentgeochemie können über einen so langen Zeitraum nur sinnvoll durchgeführt werden, wenn eine zentrale Institution wie die Geologische Bundesanstalt die Kontinuität wahren kann und dadurch eine durchlaufende fachliche Koordination gewährleistet ist. Neben der fachlichen und inhaltlichen Kontinuität ergaben sich aus dieser Situation mehrere positive (Neben-)Effekte:

- Aufgrund der auch engen institutionellen Zusammenarbeit zwischen Geologischer Bundesanstalt und den durchführenden Labors war es möglich, den größten Teil der nach der Durchführung der Analytik vorhandenen Rest- und Rückstellproben zu erhalten. Dies gilt sowohl für das Hauptprogramm, als auch für die begleitenden Forschungs- und Prospektionsprojekte. Das entsprechende Material ist an der Geologischen Bundesanstalt archiviert, EDV-mäßig erfasst und sicher gelagert. Aktuelle Studien mit der Zielrichtung, neue

Rohstoffressourcen aufzusuchen, greifen auf diese Materialien bereits wieder zurück.

- Alle Daten aus dem 30-jährigen Programm sind in Datenbanken digital erfasst. Auch das gilt für das Hauptprogramm sowie die Begleit- und Folgeprojekte. Bei dieser digitalen Datenerfassung wurden zahlreiche Kontrollroutinen ausgeführt, welche die Berichtigung zahlreicher Fehler (z.B. Fehler bei Lagekoordinaten oder Dezimalpunktsetzung) ermöglichten.
- Bereits jetzt erfolgt eine Mehrfachnutzung der Analysedaten in unterschiedlichen Fragestellungen (erweiterte Rohstoffprospektion, Abklärung geogener Hintergrundverteilungen, Umweltgeochemie u.a.). Dies wird unterstützt durch eine konsequente Erschließung aller Datensätze durch Metadaten-Datenbanken.

Natürlich werden in Forschungsprojekten dieser Größenordnung Fehler gemacht. In der Rückschau ist es freilich möglich, Fehler und Fehlerquellen im Detail zu identifizieren und daraus Schlüsse für ähnliche Projektplanungen zu ziehen (Tab. 12).

Bereich	mögliche Fehlerquellen
Projektplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Projektstart: Mit dem Start der intensiven Rohstoffforschung im Jahr 1978 tat sich ein Fenster für die Finanzierung größerer Forschungsprojekte auf. Diese Situation wurde zur Durchführung der Bach- und Flusssedimentgeochemie genutzt. Weder die Geologische Bundesanstalt, noch die in Frage kommenden Labors waren jedoch tatsächlich darauf vorbereitet. Daher musste improvisiert werden; Lernprozesse, konkrete Planung und erste Durchführungsschritte erfolgten nebeneinander. • Die Probenahme im ersten Projektjahr wurde daher in Subauftrag an eine Firma vergeben, die auf Bergbauberatung und Rohstoffprospektion spezialisiert war. Diese stellte wiederum Studenten als Probenehmer ein, hatte aber nicht die Kapazität, diese entsprechend zu kontrollieren.
Probenehmer	<ul style="list-style-type: none"> • Aus obiger Situation ergab sich das erste Problem – die Probenehmer wurden nicht ausreichend eingeschult und während der Geländearbeiten im ersten Geländejahr kaum kontrolliert. • Ab dem zweiten Projektjahr wurden teils Mitarbeiter aus Bergbauen als Probenehmer eingeschult und längerfristig in die Projektstruktur integriert, teils wieder Studenten eingestellt – diesmal aber unter konsequenter Kontrolle. Als sehr positiv hervorzuheben ist, dass ab diesem Zeitpunkt Geländekontrollbücher geführt wurden (mit täglichen Eintragungen zu jedem Probepunkt), die sich in der Auswertungs- und Interpretationsphase als sehr brauchbar erwiesen haben.

	<ul style="list-style-type: none"> • Als problematisch ist im Rückblick zu beurteilen, dass Probenehmer (insbesondere im Projektteil Zentralzone) nach ihrer jeweiligen, täglichen Probenzahl beurteilt wurden. Belobigt wurden diejenigen mit der größten Probenanzahl (die in mehreren Fällen als unrealistisch einzustufen ist). Dieser Ansatz lässt darauf schließen, dass einige Probenehmer eher dazu tendierten, schlampig zu arbeiten. • Ein wichtiger Planungspunkt ist die Mobilität der Probenehmer (und der entsprechenden Kosten). Um die Probenahme in einem ökonomischen Zeitraum ausführen zu können, müssen die Probenehmer soweit als möglich mit Fahrzeugen an die Probepunkte gelangen können. Dies ist gerade in alpiner Morphologie oft schwierig. Als vorteilhaft hat sich herausgestellt, dafür eher Miet- oder Leasing-Varianten zu nutzen, als die Probenehmer eigenen Kraftfahrzeuge zu verwenden.
Probenahme	<ul style="list-style-type: none"> • Bei großer Probenanzahl und gleichzeitig mehreren Probenehmern ist ein Nummerierungssystem notwendig, das Doppel- oder Fehlproben ausschließt. Bewährt hat sich, die Probengebinde im Voraus durch zu nummerieren und händische Neunummerierungen im Gelände oder ähnliche Manipulationen zu verbieten. • Die Probenahmepläne wurden durch Fachkundige auf der Basis der ÖK 50 erstellt. Das erlaubte die jeweilige Zieldichte zu erreichen, ohne dass nachbeprobet werden musste. Da im Programmzeitraum nur in der letzten Phase GPS-basierte Navigationssysteme zur Verfügung standen, war eine gute Geländeorientierung der Probenehmer Voraussetzung. • Wie oben schon angedeutet, führte schlampige Beprobung dazu, an Stellen die Probe zu ziehen, die nicht der vorgegebenen Norm entsprach. Teilweise war dies im Nachhinein an Hand der Analysen nachvollziehbar. • Während der Probenahme in Karbonatgebieten wurde ein Phänomen beobachtet, das in der Folge zu Problemen bei der Probenaufbereitung führte. In den Fällen, in denen die Lufttrocknung der Proben im Gelände (im Probengebinde) auf Grund verzögerten Abtransports länger dauert, neigen solche Proben zu Verkittung des Feinanteils. Zu verhindern ist dies nur, wenn entweder die Probe noch mit gewissem Feuchtigkeitsgrad in das Labor zur weiteren Behandlung geliefert wird, oder die Proben in offenen, breiteren Schalen getrocknet werden (unter mehrfacher Durchbewegung).
Probenaufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Der Zeitdruck und der Zwang zur Improvisation im ersten Projektjahr führten dazu, dass ein Teil der Probenaufbereitung im Labor von ungeschultem Personal ausgeführt wurde. Auch fehlte eine ausreichende Unterstützung und Kontrolle durch das Laborpersonal bezüglich des verwendeten Equipments. Die daraus resultierende Kontamination des Probenmaterials machte umfangreiche Neubeprobungen notwendig. • Wie die Auswertung der Analyseergebnisse von Mehrfachproben belegt (siehe oben), dürfte die Teilung im Labor auch mit professionellen Teilgeräten nicht immer die erwarteten Ergebnisse erbringen. Teilungsergebnisse sind möglicherweise abhängig von der relativen Verteilung der spezifischen Gewichte der Minerale in den Proben. Im vorliegenden Fall eigneten sich mehrfach geteilte Proben nicht für eine Laborkontrolle. • Bei Vergleichen der Ergebnisse unterschiedlicher Analytikmethoden am gleichen Probenmaterial gibt es Hinweise, dass die Subprobenahme im Labor Auswirkungen auf die Analyseergebnisse haben kann. Nach längeren Lagerzeiten sind Probenmaterialien, die bereits zur Analytik vorbereitet sind, vor neuer Verwendung zu homogenisieren.
Analytik	<ul style="list-style-type: none"> • Der Geräteeinsatz im Zuge der Analytik ist im Detail zu dokumentieren. Auf Grund der Programmdauer kam es zu mehreren Gerätewechseln während der Analytik. Die neueren Modellgenerationen erlaubten auch bessere Nachweisgrenzen, was zu einer Inhomogenität bezüglich der Bestimmungsgrenzen innerhalb des Datensatzes einer Reihe von Elementen führte. • Die Ergebnisse der internen Laborkontrolle wurden nicht veröffentlicht. Dokumentiert ist die Verwendung eines Österreich-spezifischen Zusatzstandards über die gesamte Analytikphase („Donau-Standard“). • Im Zuge mehrerer Bundesländerprojekte fand die interne und externe Laborkontrolle innerhalb desselben Projektteams im gleichen Haus statt. Nachfolgende Kontrollen belegen eine Reihe dadurch „übersehener“ Labor-Fehler.
Datenhandling	<ul style="list-style-type: none"> • Während der ersten Programmphase (Böhmische Masse – Zentralzone) waren weder bei der Geologischen Bundesanstalt, noch im Geotechnischen Institut Arsenal entsprechende Daten-Netzwerke oder Datenbankstrukturen vorhanden. Die Messergebnisse der Analysegeräte wurden in dieser Phase im Rechenzentrum des Arsenal in digitalen Listen verwaltet und auf Magnetbändern der Geologischen Bundesanstalt und/oder direkt dem VA-Rechenzentrum in Leoben übergeben. Mit Hilfe selbst programmierter einfacher Statistik-Routinen wurden die Daten geprüft (Histogramme, Min-, Max- und Mittelwerte, Standardabweichung). Eine zweite Plausibilitätsprüfung erfolgte durch visuelle Prüfung an Hand von Lageplots, die vom VA-Rechenzentrum angefertigt wurden. • Beschleunigt und verbessert wurde das Datenhandling und somit auch die Datenkontrolle ab dem Zeitpunkt, an dem entsprechende Software für PCs vorhanden war. Dies war erst mit den Bundesländerprojekten möglich. • Erst im Zuge der letzten Programmphase, als die Daten der Bachsedimentgeochemie für mehrere Interpretationsziele eingesetzt wurden, erfolgten eine einheitliche Prüfung des Gesamtdatensatzes und eine entsprechende Verbesserung vorhandener Datenfehler. • Aktuell ist der Gesamtdatensatz, einschließlich der Metadaten, in Datenbanken gesichert.
Auswertung / Interpretation	<ul style="list-style-type: none"> • In Abhängigkeit der in der ersten Programmphase nur rudimentär vorhandenen EDV-Systeme erfolgten bisher nur Auswertungen aus einigen beschränkten Gesichtspunkten. • In der Umsetzung und multidisziplinären Interpretation der Daten sind noch weite Felder offen.

Tab. 12.
Bach- und Flusssedimentgeochemie; Zusammenfassung der Erfahrungen bezüglich möglicher (oder tatsächlich aufgetretener) Fehlerquellen.

5 Ergebnisdarstellung und -diskussion nach Einzelementen

(HERBERT PIRKL, SEBASTIAN PFLEIDERER, ALBERT SCHEDL, HEINZ REITNER & HASSAN NEINAVAIIE)

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht einerseits über das Verhalten der jeweiligen Elemente, andererseits über die wichtigsten, spezifischen Ergebnisse der systematischen Bach- und Flusssedimentgeochemie. Jede Elementbeschreibung folgt dabei dem gleichen Inhaltsschema:

- Daten über die geogene Herkunft des jeweiligen Elements.
- Daten über die Häufigkeit des jeweiligen Elements in lithologischen Haupteinheiten; die Daten sind der Literatur entnommen (siehe Zitate).
- Wichtige Minerale des jeweiligen Elements.

Daten über die Spurenelementgehalte des jeweiligen Elements in Mineralen; die Konzentrationsangaben stammen einerseits aus WEDEPOHL (1974) bzw. RÖSLER & LANGE (1976), andererseits aus mineralogischen Untersuchungen an Bachsedimenten, Böden, Haldenmaterialien und Gesteinen in Österreich (NEINAVAIIE et al., 2008; PIRKL & NEINAVAIIE, 2001, 2002; SCHEDL et al., 2012, 2014).

- Informationen über die Verbreitung und Herkunft des jeweiligen Elements in Abhängigkeit von technologischen Prozessen oder Produkten.
- Die Hauptergebnisse der Elementkonzentrationen in den Bach- und Flusssedimenten werden einerseits in Verteilungsgrafiken zusammengefasst, andererseits als Flächendarstellung für die Kornfraktion < 0,18 mm, soweit es sinnvoll erschien. Die Elementverteilungen werden nach den Hauptarbeitsgebieten Böhmisches Massiv, Zentralzone und Bundesländerprojekte sowie den Korngrößenfraktionen getrennt dargestellt.

- Eine Kurzcharakteristik fasst für jedes Element die wichtigsten Ergebnisse und Aussagen der Analytik der Bach- und Flusssedimente zusammen.

Als Darstellungsart für die Verteilungsgrafiken der Elementgehalte wurde eine Kombination aus einem Quantile-Quantile Punktdiagramm (in Form eines sogenannten Normalverteilungsplots) und aus einem Wahrscheinlichkeitsnetz gewählt (Abb. 24).

Auf der X-Achse werden als empirische Quantile die Elementgehalte nach ihren Größen (bzw. Rang) geordnet aufsteigend eingetragen. Auf der linken Y-Achse werden die aus den Rangwerten berechneten Quantile z_α als lineare Maßzahlen der Standard-Normalverteilung $N(0,1)$ aufgetragen. Zusätzlich wird auf der rechten Y-Achse die den Quantilen entsprechende Wahrscheinlichkeit der Standard-Normalverteilung aufgetragen. Bei den Verteilungsgrafiken der Hauptelemente werden die Gehalte auf der X-Achse linear skaliert eingetragen, für die Verteilungsgrafiken der Spurenelemente wird in der X-Achse eine logarithmische Skala verwendet.

Mit Hilfe der rechten Y-Achse können die Anteile der relativen Häufigkeiten unter einem gewählten Wert der X-Achse abgelesen werden, so weisen z.B. bei dem Wert 0,5 auf der rechten Y-Achse (entspricht dem Perzentilwert 50 % bzw. dem Medianwert) die Hälfte der Daten einen Wert auf, der kleiner als der zugehörige Gehalt auf der X-Achse ist. Dies entspricht dem Wert 0 auf der linken Y-Achse. Zusätzlich können auf der linken Y-Achse die Quantilsabstände als Streuungsparameter (Vielfaches der Standardabweichung) betrachtet werden.

Zusätzlich können die Grafiken als grafischer Test auf Normalverteilung bzw. Log-Normalverteilung dienen. Auf-

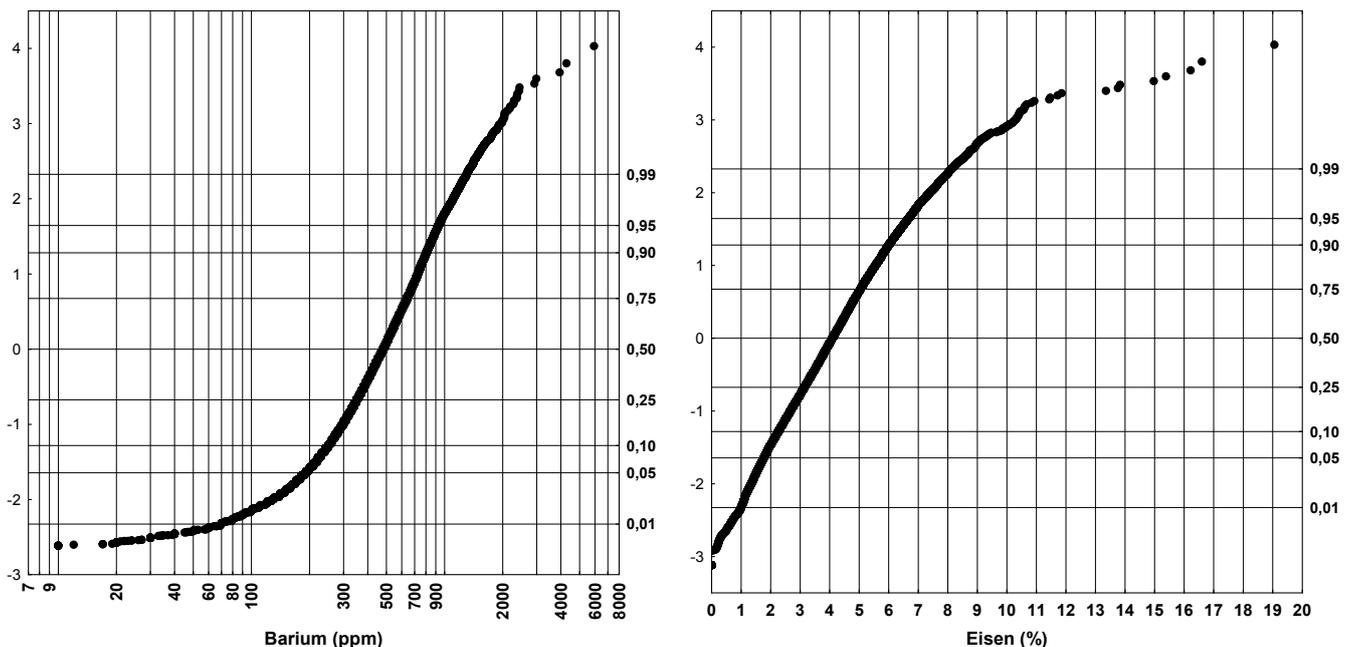


Abb. 24. Beispielgrafiken für die Darstellung der Elementverteilungen. Links: siehe Abb. 35b, rechts: siehe Abb. 65b.

grund der speziellen Skalierung der Y-Achse würden normalverteilte Daten der Hauptelemente auf einer Geraden angeordnet zu liegen kommen, bzw. würden bei den Spurenelementen log-Normalverteilte Daten auf einer geraden Linie angeordnet werden. Damit die Lage der Datenpunkte besser sichtbar wird, wurde die Gerade der Standard-Normalverteilung nicht als Element in die Grafik aufgenommen.

Eine der Vorteile dieser Darstellungsart liegt auch in einer besseren grafischen Unterscheidung von sehr niedrigen und sehr hohen Konzentrationen. Natürliche „Brüche“ zwischen verschiedenen Datenpopulationen werden meist deutlich herausgehoben.

Die folgenden Darstellungen nach Einzelelementen beinhalten einerseits allgemeine Informationen zur geochemischen Charakteristik der Bäche und Flüsse in Österreich, andererseits sehr spezifische Aussagen, die von unterschiedlichen Randbedingungen beeinflusst werden.

Obwohl über die gesamte Programmdauer hin versucht wurde, die fachliche Kontinuität und interne Vergleichbarkeit zu erhalten, ist trotzdem bei der Dateninterpretation eine mögliche Problematik in zwei Bereichen zu beachten:

- Alpine Bäche und Flüsse sind komplexe Systeme, die einer laufenden Veränderung unterworfen sind. Sedimenteintrag, Sedimenttransport und Sedimentablagerung sind von den Parametern Wasserführung, Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft abhängig. Diese Parameter wechseln ständig je nach Wetterlage und Abflusssituation im Einzugsgebiet. Kontroll- und Wiederholungsbeprobungen haben zwar gezeigt, dass die Variabilität des Systems sich nicht so stark auf die geochemische Zusammensetzung der Bachsedimente auswirkt. In der langen Phase des Programmablaufes waren aber auch Extremsituationen zu verzeichnen. Witterungsbedingte Extremsituationen waren beispielsweise einerseits eine lange Hitzeperiode während der Beprobungen im Projekt Burgenland (2001), die eine allgemein sehr geringe Wasserführung bedingte, andererseits das Katastrophenhochwasser während der Beprobungen im Projekt Vorarlberg (2002), das zu einer längeren Unterbrechung der Probenahme zwang. Auch kurzzeitige Starkregenereignisse (Sommergewitter) wirken sich lokal auf die Sedimentcharakteristik aus. Für die Bundesländerprojekte können die Geländemessdaten als entsprechende Kontrollparameter für die jeweiligen Beprobungsrandbedingungen herangezogen werden; für den großen Datensatz des Bereichs Zentralzone und Böhmisches Massiv ist dies leider nicht möglich.
- Auch für die Durchführung der Analytik wurde fachliche Kontinuität angestrebt. Soweit es die institutionelle und personelle Kontinuität betrifft, wurde dies bereits oben mehrmals ausgeführt. Die Problematik besteht freilich in der Tatsache, dass sich innerhalb des Programmablaufes von mehr als dreißig Jahren die Analysetechnik massiv verändert hat. Das wirkt sich einmal in den sich verändernden Nachweis-/Bestimmungsgrenzen aus. Wie den technischen Beschreibungen zu entnehmen ist, wurden auch viele Elemente nicht durchgehend mit derselben Analysetechnik gemessen.

- Für einzelne Elemente wird auch auf die kartenmäßige Darstellung der Daten aus den Projekten Oberösterreich und Niederösterreich verzichtet. Die entsprechenden räumlichen Verteilungsmuster dieser Elemente in den beiden Bundesländern lassen darauf schließen, dass nicht nur innerhalb eines Projektablaufs Nachweis-/Bestimmungsgrenzen verändert wurden, sondern auch Fehler beim Probenhandling im Labor geschehen sind.

Bei der Interpretation sollte somit der Fokus nicht auf einzelnen Probepunkten liegen, sondern immer der kleinregionale oder regionale Zusammenhang betrachtet werden. Auch sollten Einzelwerte (Konzentrationen) nicht als absolut gesehen werden, sondern als Hinweis auf Trends oder Unterscheidbarkeit in eben diesem regionalen Zusammenhang – dann spielen die beschriebenen, eventuell störenden Randbedingungen bei Probenahme und Analytik weniger Rolle.

Die Ergebnisse aus der Analytik der Kornfraktion $< 0,04$ mm werden nicht gesondert kartenmäßig dargestellt. Wenn sich an Hand dieser Analytik wichtige Zusatzinformationen ergaben, welche über die Ergebnisse der Kornfraktion $< 0,18$ mm hinausgehen, werden sie textlich in die Elementbeschreibungen integriert. Zusammenfassend ist zum Einsatz der Kornfraktion $< 0,04$ mm festzuhalten, dass in einzelnen lokalen Situationen spezifisch neue oder ergänzende Aussagen gegenüber der Kornfraktion $< 0,18$ mm möglich waren, insgesamt sich aber kein abweichendes Muster damit ergab.

Zur flächenhaften Darstellung der Ergebnisse wurden die Punktdaten der Bachsedimentgeochemie Böhmisches Massiv und Zentralzone (Abb. 1) sowie der Bundesländerprojekte (Abb. 2) herangezogen. Mehrfachbeprobungen und -analytik wurden nicht berücksichtigt. Insgesamt wurden 34.366 Datensätze verwendet.

Für die Interpolation wurde die Methode der inversen Distanzgewichtung gewählt. Diese Methode ist schnell, deterministisch und erfordert keine Annahmen bezüglich der Datenverteilung. Das Ergebnis bildet die Werte an den Messpunkten exakt ab und ist eher geeignet, lokale Variationen anstatt regionaler Trends widerzuspiegeln. Das Ergebnis kann durch die Auswahl des Exponenten (Potenz der Entfernung) und des Suchfeldes, innerhalb welchem benachbarte Punkte in die Berechnung miteinbezogen werden, beeinflusst werden. Hohe Exponenten und kleine Suchradien verringern den Einfluss weiter entfernter Punkte auf den interpolierten Wert und lassen „Bullaugen“ um Probenpunkte entstehen, während ein niedriger Exponent und weite Suchradien lokale Spitzen glätten.

Die Berechnung wurde unter Benutzung des ESRI ArcGIS Geostatistical Analyst® mit den folgenden Parametern für alle Elemente gleichermaßen durchgeführt:

- Exponent für Distanzgewichtung: 2.
- Anzahl benachbarter Punkte: maximal 5, minimal 0. Wenn in der Nachbarschaft keine Punkte vorlagen, wurde der Suchradius nicht vergrößert, sondern auf die Berechnung eines Interpolationswertes verzichtet, um die Gebiete sichtbar zu machen, in denen keine Daten vorliegen. Anstatt eines glättenden Verlaufs wurde die Suche am Rand des Suchfeldes abrupt beendet.

- Suchradius: 5 km. In der Zentralzone und der Böhmisches Masse beträgt die durchschnittliche Entfernung zwischen zwei Probepunkten 0,8 km, in den übrigen Gebieten 2,3 km. Der gewählte Suchradius ist ausreichend groß, um mit der Berechnung die Flächen zwischen den Probepunkten fast im gesamten Bundesgebiet abzudecken. Lediglich in den kalkalpinen Regionen Dachstein, Totes Gebirge und Karwendel sowie im Seewinkel und dem Stadtgebiet Wien kommt es zu nicht berechneten Flächen, allerdings existieren hier auch keine Oberflächengewässer. Ein größerer Suchradius könnte diese Bereiche abdecken, würde aber lokale Muster in anderen Gebieten zu sehr glätten. Auf elliptische Suchfelder wurde verzichtet, um keine Richtungstrends vorzugeben.
- Unterteilung des Suchfeldes in Sektoren: nein.

Für Elemente, die bei allen Teilprojekten (Tab. 2) untersucht wurden und trotz unterschiedlicher Analysemethoden und -zeiträume vergleichbar sind, wurde die Interpolation über das gesamte Bundesgebiet gerechnet. Dies betrifft Aluminium, Kalzium, Eisen, Kalium, Magnesium, Mangan, Natrium, Phosphor, Titan, Arsen, Barium, Beryllium, Cer, Cobalt, Chrom, Kupfer, Gallium, Lanthan, Molybdän, Niob, Nickel, Blei, Rubidium, Scandium, Zinn, Strontium, Thorium, Vanadium, Yttrium, Zink und Zirkonium. Bei den Elementen Silicium, Quecksilber und Selen wurden die Bereiche der Zentralzone und der Böhmisches Masse bei der Interpolation ausgespart, bei den Elementen Chlor und Lithium zusätzlich das Bundesland Niederösterreich, bei Fluor und Schwefel zusätzlich noch Oberösterreich.

Bei den Bundesländerprojekten Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Kärnten und Steiermark wurden auch in den Zentralalpen

Bachsedimentproben gewonnen und analysiert. Dies lieferte Informationen über die Elementgehalte von Silicium, Chlor, Fluor, Quecksilber, Lithium, Schwefel und Selen, die im Datensatz der Zentralzone nicht enthalten sind. Die Probepunkte liegen durchschnittlich 5,3 km auseinander und wurden bei der Flächenverrechnung dieser Elemente nicht berücksichtigt. Um die Analytik dennoch darzustellen, sind die Elementgehalte, klassifiziert nach denselben Grenzen wie die interpolierten Werte, als Punktsymbole in den Abbildungen zur Flächenverrechnung enthalten.

Die Ergebnisse der Interpolation wurden als Rasterdatensätze mit einer Zellengröße von 1 x 1 km exportiert. Zur Darstellung der Hauptelemente Aluminium, Kalzium, Eisen, Kalium, Magnesium, Mangan, Natrium, Phosphor, Silicium und Titan wurden acht Klassen gebildet, wobei sich die Klassengrenzen nach den Quantilwerten der ursprünglichen Punktdaten richten (Minimalwert, q_5 , q_{10} , q_{25} , q_{50} , q_{75} , q_{90} , q_{95} , Maximalwert). Für die Nebenelemente wurden sieben Klassengrenzen definiert, die von einer Klassifizierung nach JENKS (1977) ausgehen, danach aber noch manuell modifiziert wurden, um bestimmte Anomalien hervorzuheben.

In den Abbildungen zur Flächenverrechnung sind Diagramme zur Häufigkeitsverteilung eingefügt, die sowohl die Häufigkeiten in Säulenform, als auch kumulative Häufigkeiten in Punktform darstellen. Die Diagramme stellen die Verteilung der Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze in Prozent, relativ zur Anzahl sämtlicher vorhandener Messwerte dar. Diese Anzahl ist rechts neben den Diagrammen angeführt. Bei der Säulendarstellung entsprechen Klassengrenzen und Farbgebung der Kartenlegende für die Interpolation.

Ag – Silber (Abb. 25–27)

Geogene Herkunft

Spurenelement mit chalkophilen und siderophilen Eigenschaften. Geogen angereichert in hydrothermalen Sulfidlagerstätten, assoziiert mit Gold, Kupfer, Blei, Zink, Quecksilber, Arsen und Antimon. Pfadfinderelement für Buntmetalle; Neben- bis Spurenelement in Sulfiden (insbesondere Fahlerzen, Galenit, Pyrargyrit). Spuren in manchen Fe-Mg-Silikaten, wie in Pyroxenen.

Häufigkeit (Ag in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	0,05 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,06 ³
basische Gesteine	0,10 ²
intermediäre Gesteine	0,07 ¹
granitische Gesteine	0,05 ²
Tonschiefer	0,07 ⁵
Sandsteine	0,10–0,31 ⁸
Karbonatgesteine	0,05–0,17 ⁸
Unterböden	0,25 ⁴

Wichtige Silberminerale

Gediegen Silber, Argentit (87 % Ag), Proustit (65 %), Pyrargyrit (60 %), Stephanit (68 %), Polybasit (64–72 %), Miargyrit (37 %), Stromeyerit (53 %), Fahlerz (bis 18 %), Chlorargyrit (75 %), Argentojarosit (19 %), Elektrum (20 %), Sylvanit (13 %).

Silber als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Antimonit	100
Arsen (gediegen)	1.000
Bornit	1.000
Boulangerit	100
Bournonit	bis 3.000
Chalkopyrit	bis 3.000
Chalkosin	100
Clausthalit	1.000
Galenit	bis 30.000
Gold	bis 20.000
Krokoit	100
Kupfer (gediegen)	1.000
Platinminerale	bis 60
Pyrit	bis 200
Pyrrhotin	bis 100
Skutterudit	1.000
Sphalerit	bis 10.000
Tennantit	100

Technogene Herkunft

Überwiegend Nebenprodukt bei der Verhüttung von Kupfer, Blei und Zink. Verwendung in der Schmuckindustrie sowie für elektrische Regler und Leiter, Elektroden, Hartlegierungen, Katalysatoren, korrosionsbeständige Überzüge von Metallen, Silber-Zink-Batterien; Verspiegelung von Glas, als Schutzkolloide und bakterizide Mittel, Entkeimung von Wasser, Zahnmedizin, Münzen und Medaillen, analoge Fotografie u.a. Als industrieller Abfall früher weit verbreitet in Abwässern von Fotolaboratorien und Krankenhäusern, Klärschlamm und Hausmüll (Batterien, Spiegel etc.).

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement. Relativ mobiles Element; Löslichkeit unter oxidierenden Bedingungen höher als unter reduzierenden. Unter sauren Bedingungen eher hohe, unter neutralen bis alkalischen Bedingungen geringe Mobilität. Sulfidische Erze werden zu Kerargyrit oder Silberjarosit umgewandelt. Sorption hauptsächlich an Tonminerale, organische Substanz, Fe- und Mn-Oxiden; toxisch für niedrige Wasserorganismen (Tiere stärker gefährdet als Pflanzen). Silber interagiert metabolisch mit Kupfer und Selen und verhindert damit deren Aufnahme im menschlichen Organismus.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

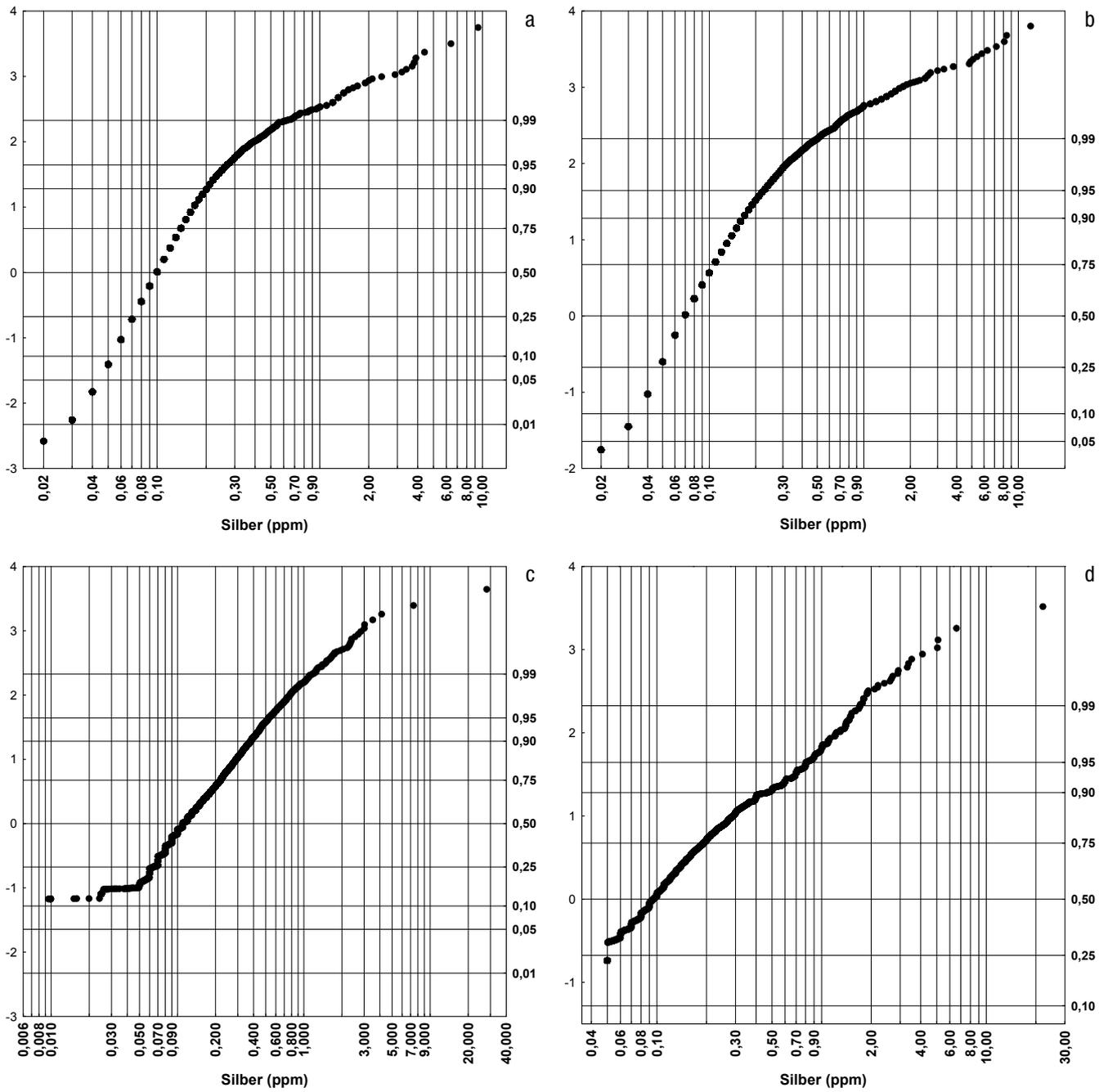


Abb. 25. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Silber in ppm; Böhmisches Massiv (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

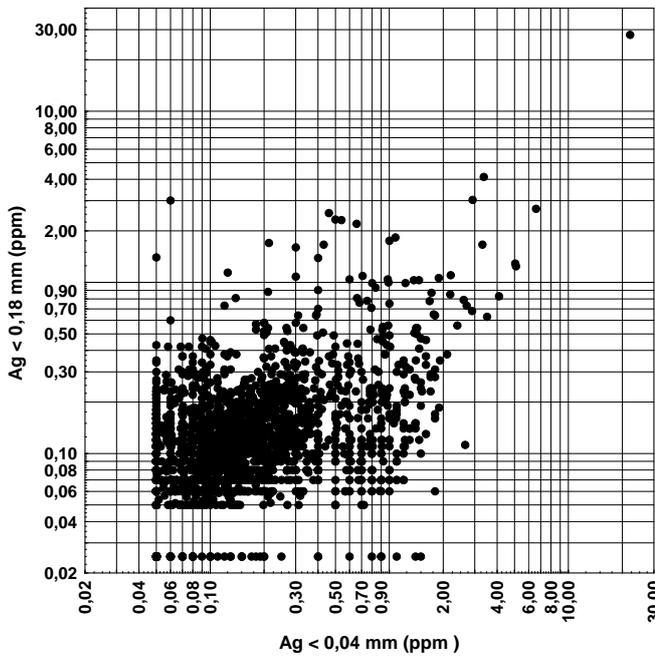


Abb. 26. Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Silber (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die Analyseergebnisse für Silber in Bach- und Flusssedimenten sind sehr schwer zu interpretieren. Nur für etwa ein Prozent der Daten liegt die Konzentration bei > 1 ppm. Punkte mit diesen höheren Konzentrationen liegen überwiegend weit verstreut und vereinzelt. Die hohe Streuung der Korrelation von Konzentrationen in der Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und der Kornfraktion <math>< 0,04 \text{ mm}</math> zeigt, dass die Analytik in den niedrigen Konzentrationsbereichen keine eindeutigen Aussagen liefert. Aus diesem Grund wird auch keine flächige Auswertung vorgelegt.

Als Teilergebnis einer Spezialstudie (PIRKL & KRALIK, 1988) ergab sich der Zusammenhang zwischen einer höheren Konzentration von Silber > 1 ppm und Emissionen aus Krankenanstalten (frühere Ag-Abwässer aus der analogen Röntgenbilderstellung). Dieser Hinweis auf anthropogene Belastungen hat sich auch an anderen Stellen bestätigt. Auch andere kommunale Abwässer können etwas mit Silber belastet sein.

Lokale Anreicherungen mit geogener Ursache finden sich im Zusammenhang mit polysulfidischen Vererzungen (Pb-Zn) oder Goldmineralisationen (z.B. Schladminger Tauern, Kreuzeckgruppe, zentrale Hohe Tauern u.a.).

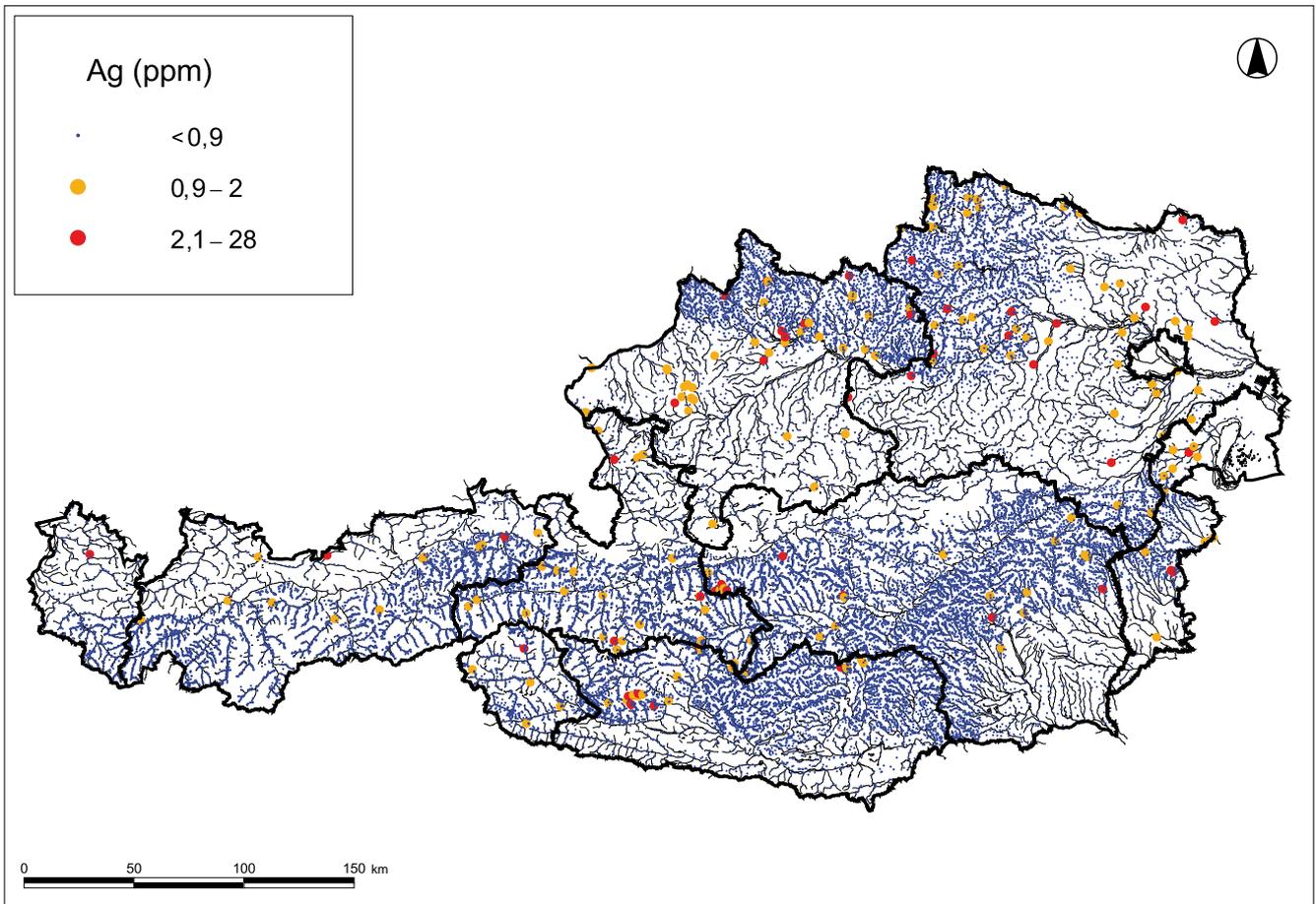


Abb. 27. Bach- und Flusssedimentgeochemie <math>< 0,18 \text{ mm}</math>; Probepunkte mit höheren Silberkonzentrationen.

Al – Aluminium (Abb. 28–30)

Geogene Herkunft

Lithophiles Hauptelement, das dritthäufigste Element und das häufigste Metall der Erdkruste; geochemisch ist es sehr ähnlich dem Gruppennachbar Gallium. Aluminium ist Hauptgemengteil in vielen gesteinsbildenden Mineralen, wie Feldspat, Glimmer, Amphibole und Pyroxene. In Feldspäte ist dabei der Hauptteil des Aluminiums in der Erdkruste gebunden. Bei tropischen Verwitterungsprozessen kann das Aluminiumerz Bauxit entstehen, eine Mischung aus sekundären Oxid-/Hydroxid-Mineralen.

Häufigkeit (Al in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	8,1 ⁶
ultrabasische Gesteine	2,0 ³
basische Gesteine	8,8 ²
intermediäre Gesteine	8,9 ¹
granitische Gesteine	7,7 ²
Tonschiefer	8,8 ⁵
Sandsteine	2,5 ³
Karbonatgesteine	0,4 ³
Unterböden	6,2 ⁴

Wichtige Aluminiumminerale

Korund (53 % Al), Diaspor (45 %), Chrysoberyll (43 %), Bauxit (39 %), Spinell (39 %), Gibbsit (35 %), Andalusit (33 %), Kyanit (33 %), Sillimanit (33 %), Kaolinit (21 %), Muskovit (20 %).

Aluminium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Apatit	100
Borax	1.000
Boulangerit	100
Datolith	bis 6.000
Enstatit	1.000
Hämatit	100
Hypersthen	1.000
Ilvait	1.000
Krokoit	1.000
Löllingit	100
Magnetit	bis 7.500
Olivin	100
Quarz	bis 2.700
Rutil	100
Serpentin	bis 3.000
Talk	bis 2.000
Titanit	1.000
Zirkon	bis 5.000

Technogene Herkunft

Aluminium ist das wichtigste Leichtmetall und wird in metallischer Form in unterschiedlichen Produkten verwendet, daneben aber auch in Form verschiedener anderer Aluminiumverbindungen. Hauptverwendungsgebiete: Konstruktionswerkstoff, Aluminiumlegierungen, Elektrotechnik, Elektronikbauteile, Verpackungsindustrie, Beschichtung von Oberflächenspiegeln, Feuerwerkskörper, Raketentreibstoff u.a.

Gelangt in unterschiedlichen Bindungsformen in die Umwelt (Ziegel, Porzellan, Verpackungsmaterial, Hausmüll, Schleifmittel, Klärschlamm, Stäube aus Aluminiumverhütung und -verarbeitung). Die geogene Häufigkeit verdeckt technogene Einflüsse in den Bachsedimenten.

Verhalten in der Umwelt

Aluminium ist in Gesteinen fest gebunden. Freie Aluminiumionen bilden sich nur unter sauren Bedingungen (z.B. Unterböden mit pH < 4,2) und spielen daher in den vorliegenden Bachsedimenten keine Rolle. Leicht lösliche Aluminiumverbindungen (Aluminiumchlorid, Aluminiumnitrat) sind akut toxisch und werden beim Menschen in Haaren und Lungen angereichert. Die Stabilität nimmt von Al- und Mg-reichen Glimmern über Amphibole, Pyroxene, Albit, Alkalifeldspat bis zu Ca-reichen Plagioklasen ab. Im gemäßigt humiden Klima wird überwiegend Illit, im tropischen Klima Kaolinit gebildet.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

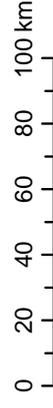
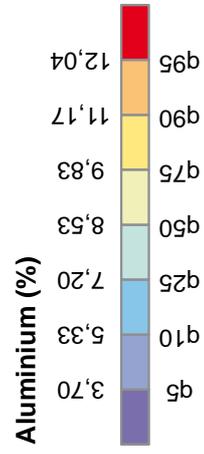
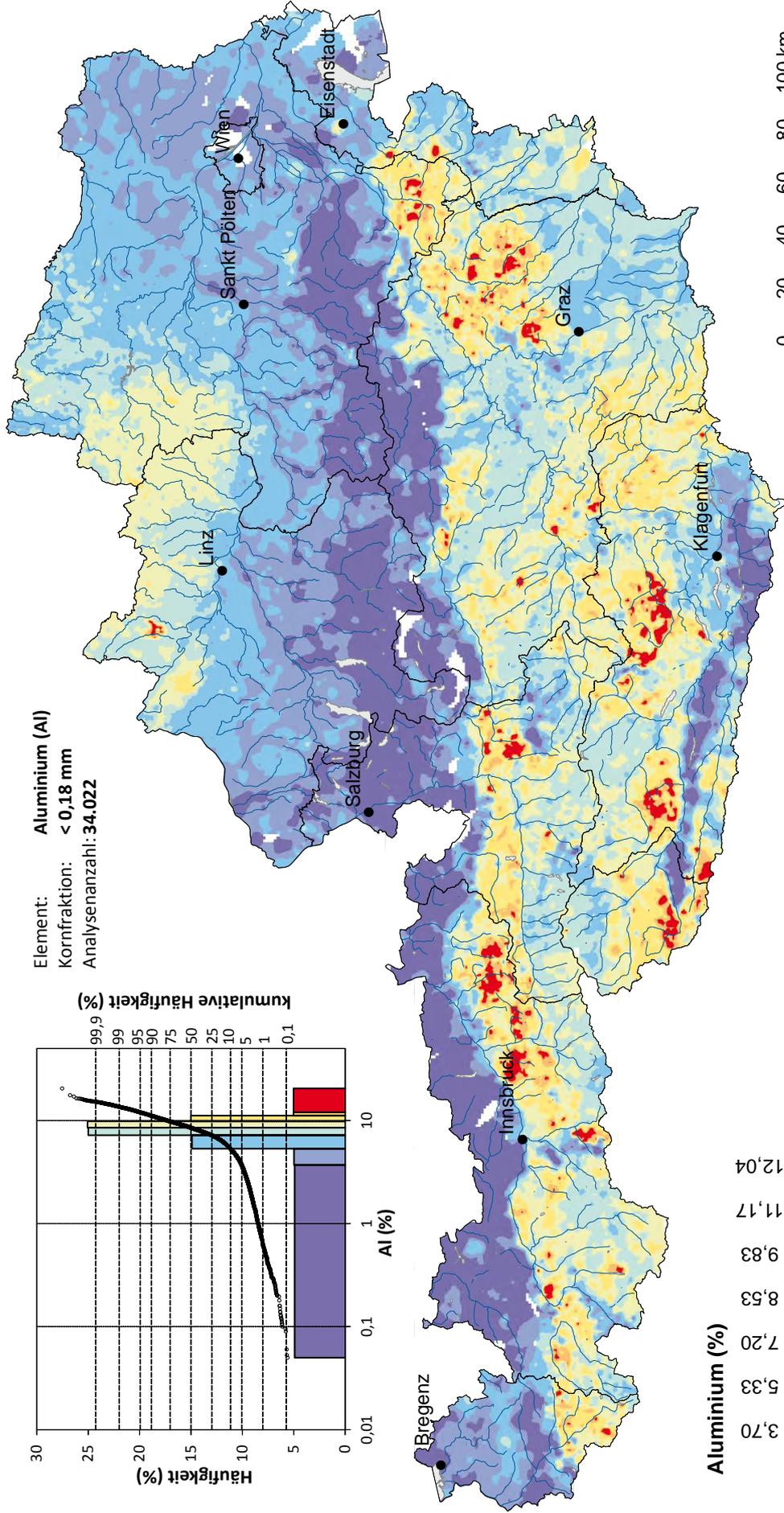
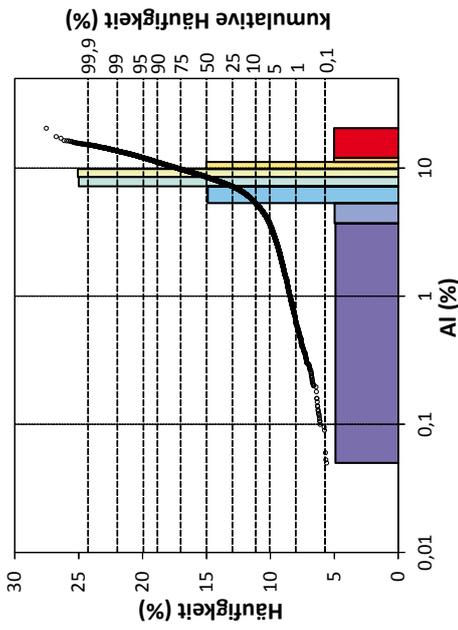


Abb. 28. Aluminiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

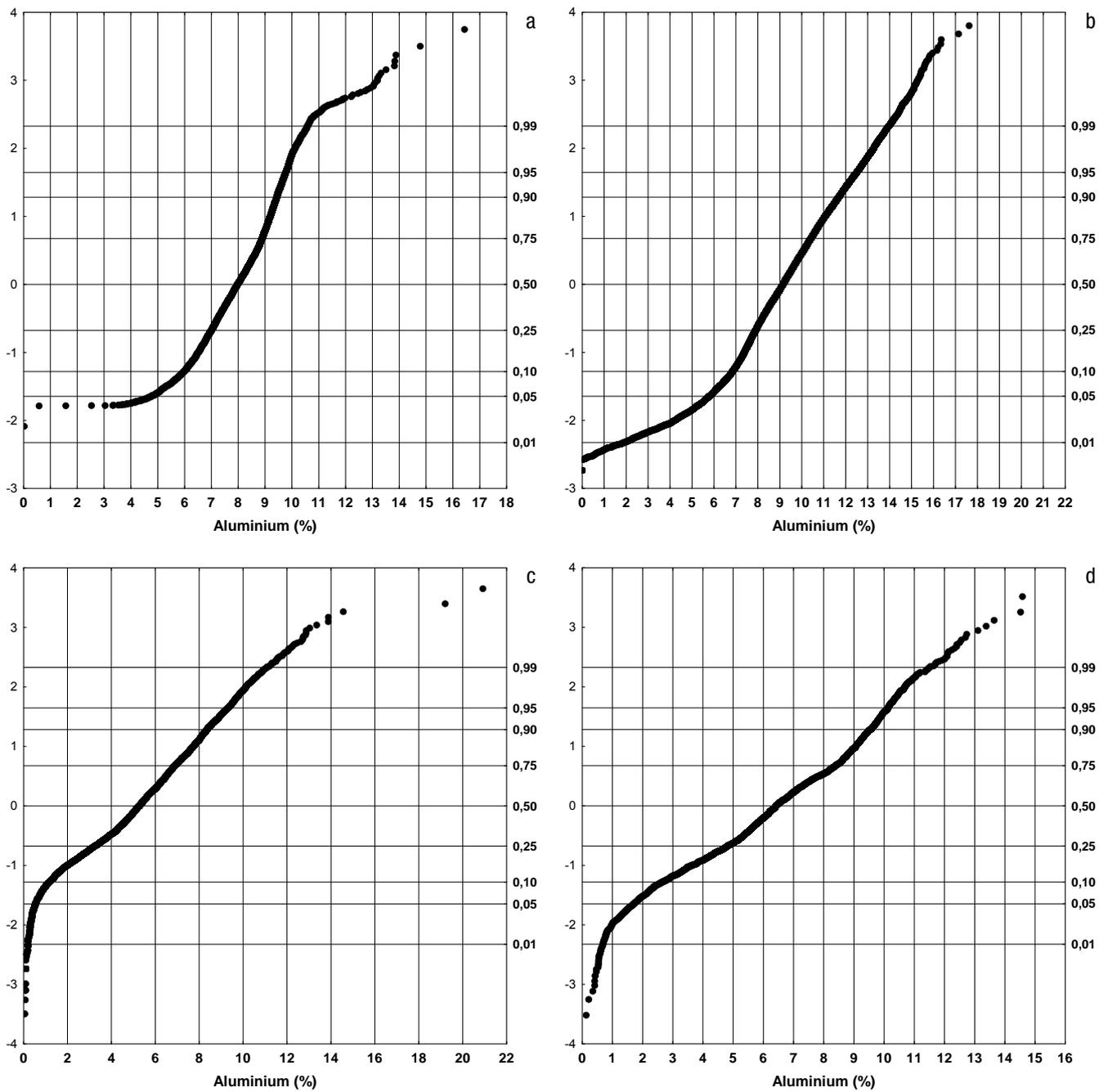


Abb. 29.
 Kumulative Häufigkeitsverteilung für Aluminium in %; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

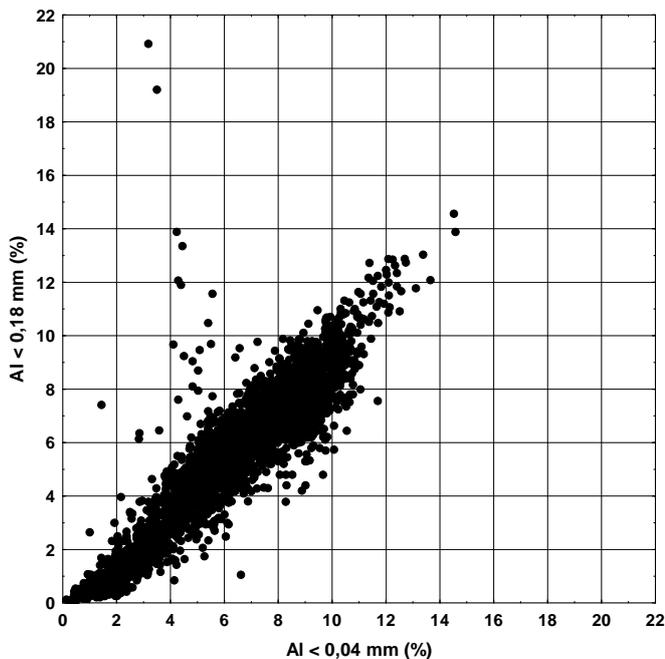


Abb. 30.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18\text{ mm}$ und $< 0,04\text{ mm}$ für Aluminium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die räumliche Verteilung von Aluminium spiegelt als Hauptelement die Verbreitung Al-führender Silikate (Feldspäte, Glimmer, Amphibole, Tonminerale u.a.) in den Bach- und Flusssedimenten wider – und ist damit einer der Hauptindikatoren für die Beschreibung der Lithologie in den Einzugsgebieten.

Gleichzeitig kann es auch ein Indikator für den Anteil an Fein- bis Feinstkorn im jeweiligen Sediment sein. Letzteres zeigt sich deutlich an der Tatsache, dass sehr hohe Al-Konzentrationen ($>$ und $\gg 10\%$) in den Bachsedimenten mit den Vorkommen phyllitischer (phyllonitischer) Gesteinsserien oder Glimmerschiefer korreliert sind. Die jeweilige Abhängigkeit dieser Phänomene wird deutlich, wenn den hohen Konzentrationen in der Zentralzone die etwas niedrigeren Konzentrationen in den Granitarenalen der Böhmisches Masse gegenübergestellt werden. Obwohl beispielsweise im Gebiet des Weinsberger Granits der Kali-Natron-Feldspat als Mineral die Bachsedimente dominiert, liegen die Al-Konzentrationen praktisch immer $< 10\%$. Das hängt damit zusammen, dass sich auf Grund des Verwitterungsverhaltens des Kali-Natron-Feldspates

dieses Mineral in der Sandfraktion anreichert. Die Fein- und Feinstfraktion wird dort durch andere Minerale dominiert.

Hohe Al-Konzentrationen im Sediment lassen gebietsweise auch auf einen höheren Tonmineralanteil schließen – die überwiegend sehr gute Korrelation der Al-Konzentrationen in der Kornfraktion $< 0,18\text{ mm}$ und der Kornfraktion $< 0,04\text{ mm}$ bestätigt diesen Schluss. Bei stark abweichenden Fällen – wie der Situation, dass in der Kornfraktion $< 0,18\text{ mm}$ die jeweilige Al-Konzentration sehr viel höher ist als in der Kornfraktion $< 0,04\text{ mm}$ – kann wahrscheinlich auf Probenahmefehler geschlossen werden.

Reine Karbonatserien (Kalksteine, Dolomite) in den Nördlichen Kalkalpen, im Drauzug und den Karawanken heben sich deutlich durch sehr niedrige Al-Konzentrationen heraus.

Die Sedimente der Bäche und Flüsse in den neogenen und quartären Lockersedimentgebieten sind eher durch niedrige bis mittlere Al-Konzentrationen charakterisiert. Auf Grund des hohen Aufbereitungsgrades der Sedimente dominiert dort eher Quarz als Hauptmineral (siehe Element Silicium).

As – Arsen (Abb. 31–33)

Geogene Herkunft

Chalkophiles Spurenelement; angereichert in vulkanogen-sedimentären Kieslagerstätten in Vergesellschaftung mit Gold (Pfadfinderelement), Kupfer, Nickel, Cobalt, Uran, Zinn, Molybdän, Quecksilber, Antimon u.a. Vorkommen vor allem in sulfidischen Vererzungen wie Arsenopyrit, Fahlerzen; vereinzelt auch in gediegener Form. Als Neben- und Spurenelement in Pyrit und Fe-haltigen Mineralen (oft feinverteilt).

Häufigkeit (As in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	5,7 ⁶
ultrabasische Gesteine	1,0 ³
basische Gesteine	2,0 ²
intermediäre Gesteine	2,4 ¹
granitische Gesteine	1,5 ²
Tonschiefer	13,0 ⁵
Sandsteine	1,0 ³
Karbonatgesteine	1,0 ³
Unterböden	6,0 ⁴

Wichtige Arsenminerale

Arsenopyrit (46 % As), Löllingit (73 %), Smalitin (72 %), Realgar (70 %), Auripigment (61 %), Rammelsbergit (72 %).

Arsen als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Antimonit	1.000
Bismuthinit	100
Bournonit	1.000
Clausthalit	100
Galenit	bis 10.000
Jamesonit	100
Markasit	1.000
Miargyrit	1.000
Pentlandit	100
Pyrrargyrit	1.000
Pyrit	100
Pyromorphit	bis 19.000
Schwefel	1.000
Sphalerit	bis 10.000
Zirkon	bis 7.000

Technogene Herkunft

Die Hauptmenge an Arsen und seinen Verbindungen wird aus Nebenprodukten bei der Verhüttung anderer Erze gewonnen. Metallisches Arsen findet Verwendung als Legierungsmetall, in oxidischer Form für medizinische Zwecke, zur Herstellung von Insektiziden, Herbiziden, Holzschutzmittel sowie Farben und Pigmenten. Arsenverbindungen (z.B. Galliumarsenid, Arsen) werden zunehmend in der Halbleiterindustrie und in der Lasertechnologie eingesetzt. Hauptträger der Umweltbelastungen sind Metallverhüttung, Kohleverbrennung, Pestizideinsatz, aber auch Emissionen im Bereich ehemaliger Bergbaue.

Verhalten in der Umwelt

Arsen ist ein essenzielles Spurenelement für einige Organismen (Tier und Mensch, nicht für Pflanzen). Sulfidisch gebundenes Arsen kann unter oxidierenden Bedingungen mobilisiert werden (Oxidation des Sulfids!), im reduzierenden Milieu ist es gering mobil. Arsen wird an Fe-, Al- und Mn-Hydroxiden sorbiert (stärker unter sauren pH-Bedingungen, weniger stark bei neutralem bis basischem pH-Wert). Durch Reduktion von Fe (III) zu Fe (II) kann Arsen freigesetzt werden. In Sedimenten besteht, bedingt durch die Bindung an Metallhydroxide, eine starke Bindung an die Feinfraktion. In höheren Konzentrationen ist Arsen toxisch, wobei die Toxizität des dreiwertigen Arsens im Allgemeinen höher als die des fünfwertigen Arsens ist. Die höchste Toxizität geht von organischen Arsenverbindungen aus. Bioakkumulation ist bei manchen Organismen ausgeprägt. Bei Menschen erfolgt eine Anreicherung von Arsen in Nägeln, Haaren und Zähnen.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

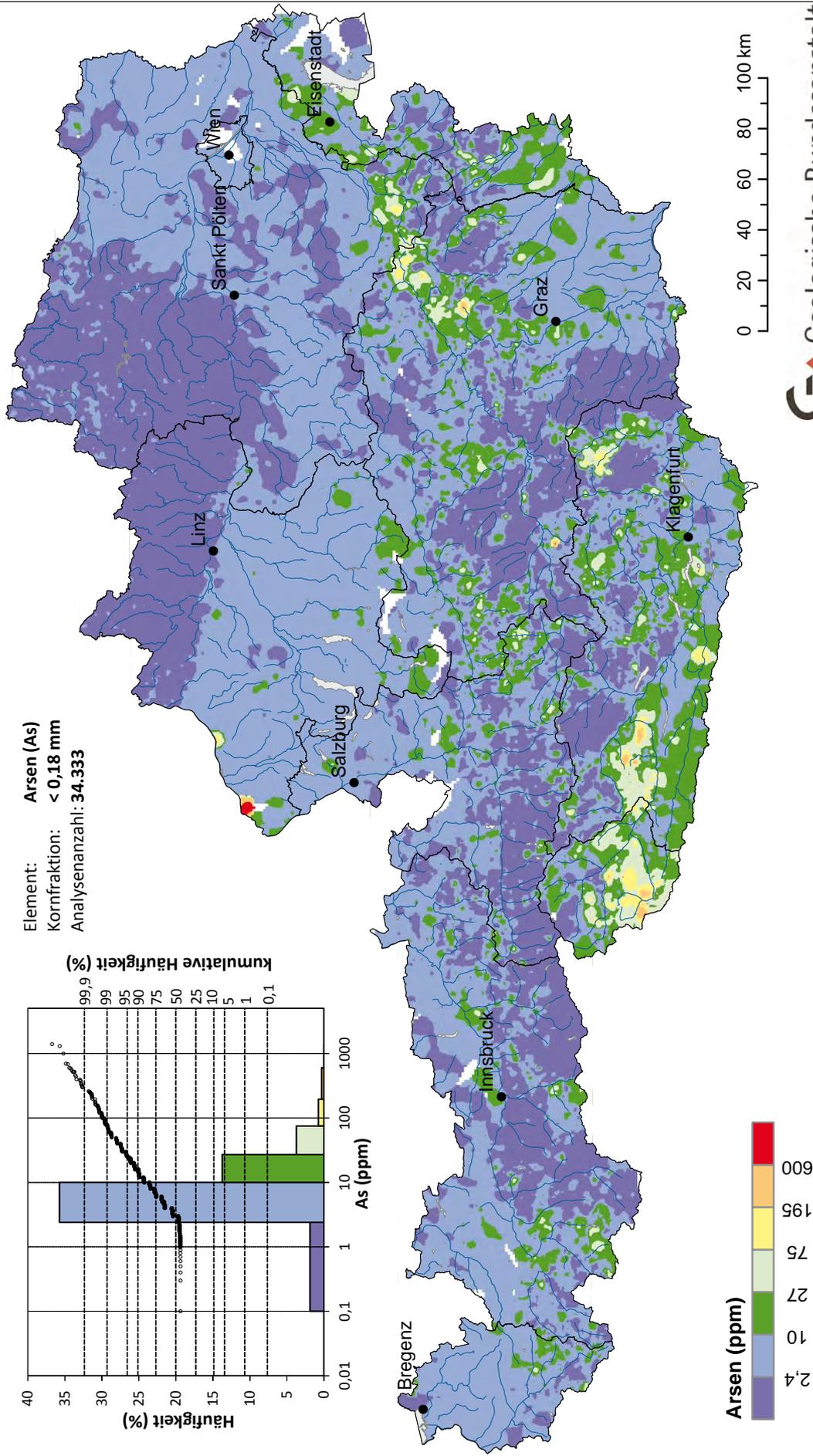
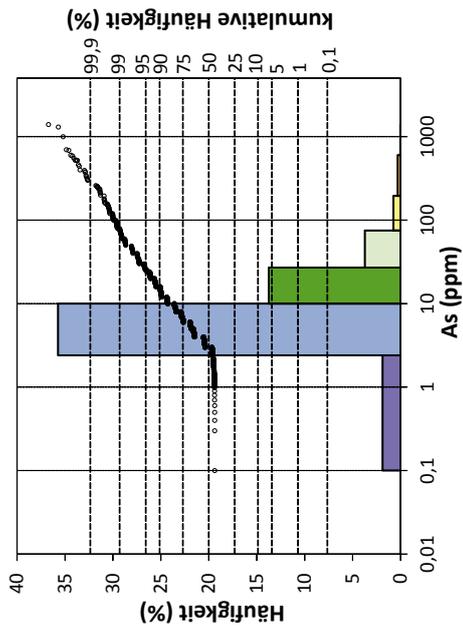


Abb. 31. Arsenverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

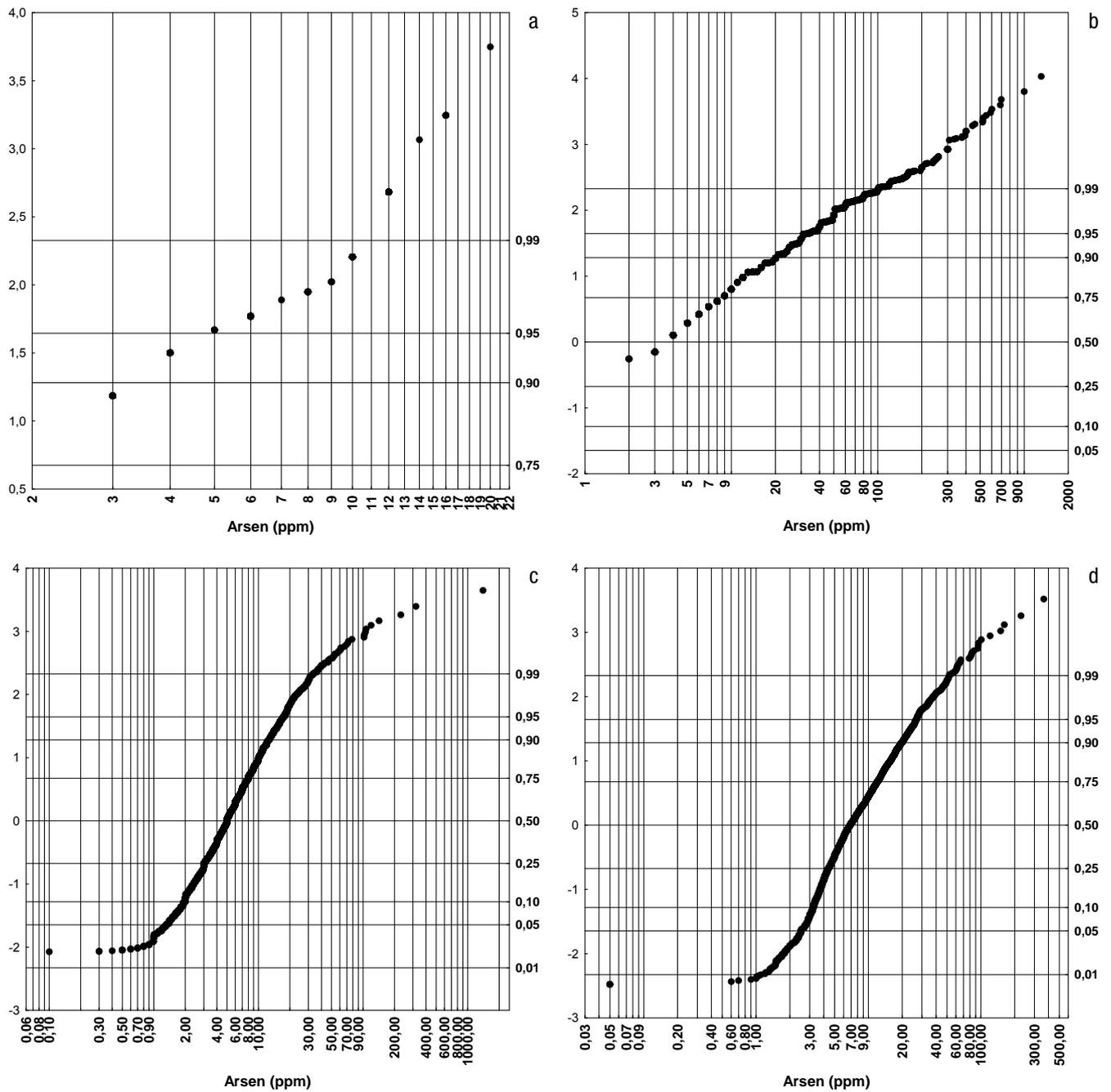


Abb. 32. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Arsen in ppm; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

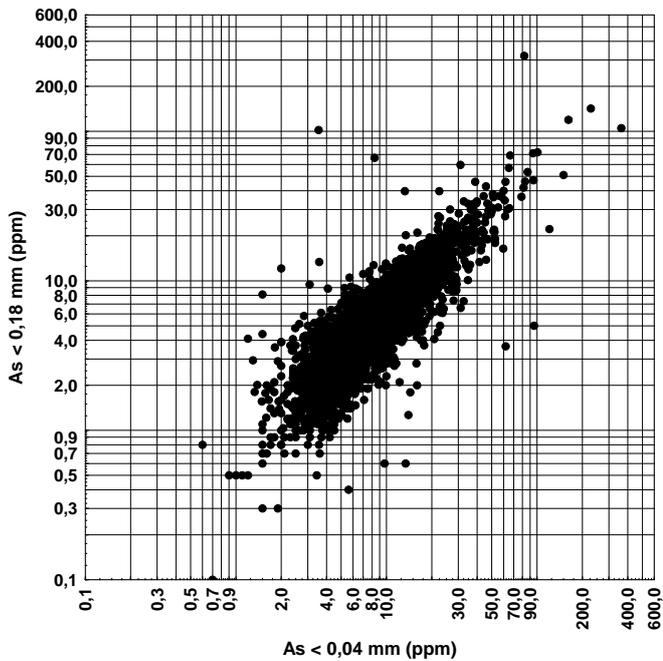


Abb. 33.
Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Arsen (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Gesamtbild der Arsenverteilung in Bach- und Fluss-sedimenten lässt den Schluss zu, dass das Muster der As-Konzentrationen im Bundesgebiet praktisch vollständig geogen bedingt ist.

Im Bereich der Kristallinserien der Böhmisches Masse liegen die As-Konzentrationen überwiegend unter der Bestimmungsgrenze, nur an wenigen Punkten wurden Arsengehalte zwischen 10 und 20 ppm festgestellt. Vergleichbares gilt auch für die großen Bereiche von Molassezone, Wiener Becken, Helvetikum und Nördliche Kalkalpen.

Ein ganz anderes Bild zeigt sich in den ostalpinen Kristallineinheiten. Hier gibt es eine Reihe abgrenzbarer Bereiche mit höheren und sehr hohen (> bis >> 100 ppm) Konzentrationen in den Bachsedimenten.

Alle diese Bereiche mit höheren As-Konzentrationen können auf Grund vorliegender Forschungsergebnisse entwe-

der direkt auf lokale Vererzungen mit hohen Arsengehalten zurückgeführt werden, oder auf flächige, feinverteilte Sulfidmineralisationen in bestimmten Gesteinsserien, wie im

- oberostalpinen Basement / Drauzug-Gurktal-Deckensystem (südliche Deferegger Alpen, Kreuzeck-Goldeck-Gruppe),
- oberostalpinen Basement / Koralpe-Wölz-Deckensystem (nördliche Saualpe) und
- unterostalpinen Basement / Wechsel-Semmering-Gebiet.

Vorliegende Erz-, Halden- und Bodenanalysen aus Altbergbauarealen lassen darüber hinaus darauf schließen, dass praktisch in allen polysulfidischen Vererzungen auch As-führende Minerale beteiligt sind. Eine entsprechende Informationsquelle dazu stellt der GIS-gestützte Bergbau-Haldenkataster an der Geologischen Bundesanstalt dar.

Ba – Barium (Abb. 34–36)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; reaktivstes Element der Erdalkaligruppe; im magmatischen Milieu Begleitelement von Kalium und Rubidium; geochemische Trennung in hydrothermalen Lösungen und im Verwitterungszyklus. Angereichert in schichtgebundenen und gangförmigen Barytmineralisationen, oft in Verbindung mit Pb-Zn- und/oder Cu-Mn-Vererzungen; Spuren- und Nebenelement in Alkalifeldspäten und Mn-Oxiden.

Häufigkeit (Ba in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	628 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,4 ³
basische Gesteine	250 ²
intermediäre Gesteine	650 ¹
granitische Gesteine	800 ²
Tonschiefer	580 ⁵
Sandsteine	300 ³
Karbonatgesteine	100 ³
Unterböden	385 ⁴

Wichtige Bariumminerale

Witherit (70 % Ba), Baryt (59 %), Psilomelan (13 %).

Barium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Albit	bis 1.500
Amphibole	100
Anglesit	1.000
Anhydrit	1.000
Ankerit	1.000
Aragonit	100
Augit	100
Biotit	1.000
Calcit	1.000
Cassiterit	100
Coelestin	bis 28.800
Dolomit	100
Feldspäte	100
Kalifeldspäte	bis 2.100
Magnetit	100
Muskovit	1.000
Plagioklase	100
Pyrophyllit	bis 5.000
Strontianit	100

Technogene Herkunft

Verwendung als Füllstoff (z.B. in Papier und Kunststoffen), Pigmente, Spülzusatz bei Bohrungen, Zusatz für Lagermetalle, Kontrastmittel für Röntgenaufnahmen in der Glas-, pharmazeutischen und chemischen Industrie. Technogene Einflüsse dürften gering sein. Regionale Einflüsse auf die Verbreitung von Barium in der Umwelt werden teilweise der Kohlenverfeuerung und Mineralrohstoffaufbereitung zugeschrieben.

Verhalten in der Umwelt

Für manche Organismen möglicherweise essenzielles Spurenelement. Wird durch Sulfat oder Karbonat gefällt und ist dann schwer löslich; Sorption vorzugsweise an Mn-Oxide und Tonminerale. Unter reduzierenden Bedingungen sehr geringe Mobilität; oxidierendes Milieu gering mobil. Mobilität steigt mit sinkendem pH-Wert. Lösliche Ba-Verbindungen (z.B. BaCl₂) sind toxisch und werden u.a. als Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt. Epidemiologische Auswirkungen (z.B. Gastroenteritis) von Barium in Trinkwasser werden vermutet; BaSO₄ auf Grund der geringen Löslichkeit kaum toxisch. Im Bachsediment Bindung an den Gesteinsdetritus, vor allem an Feldspäte. Baryt mit guter Spaltbarkeit als stabiles Mineral in der Feinfraktion angereichert.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

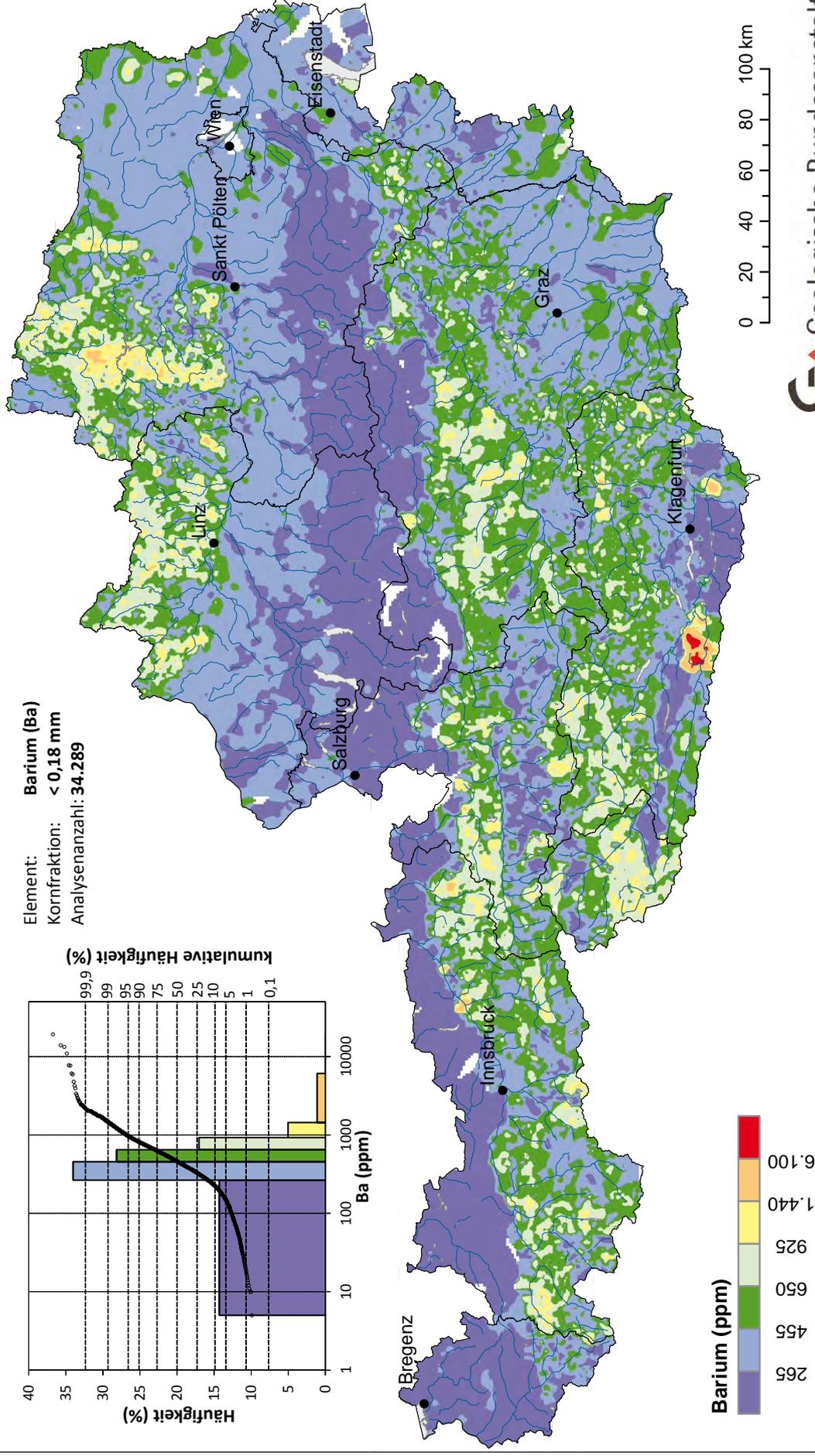
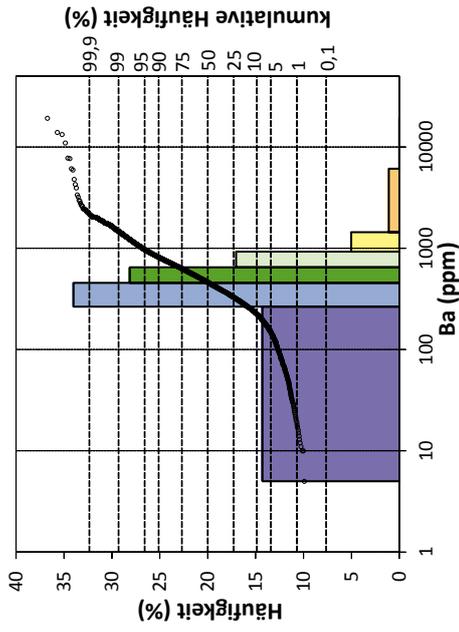


Abb. 34. Bariumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

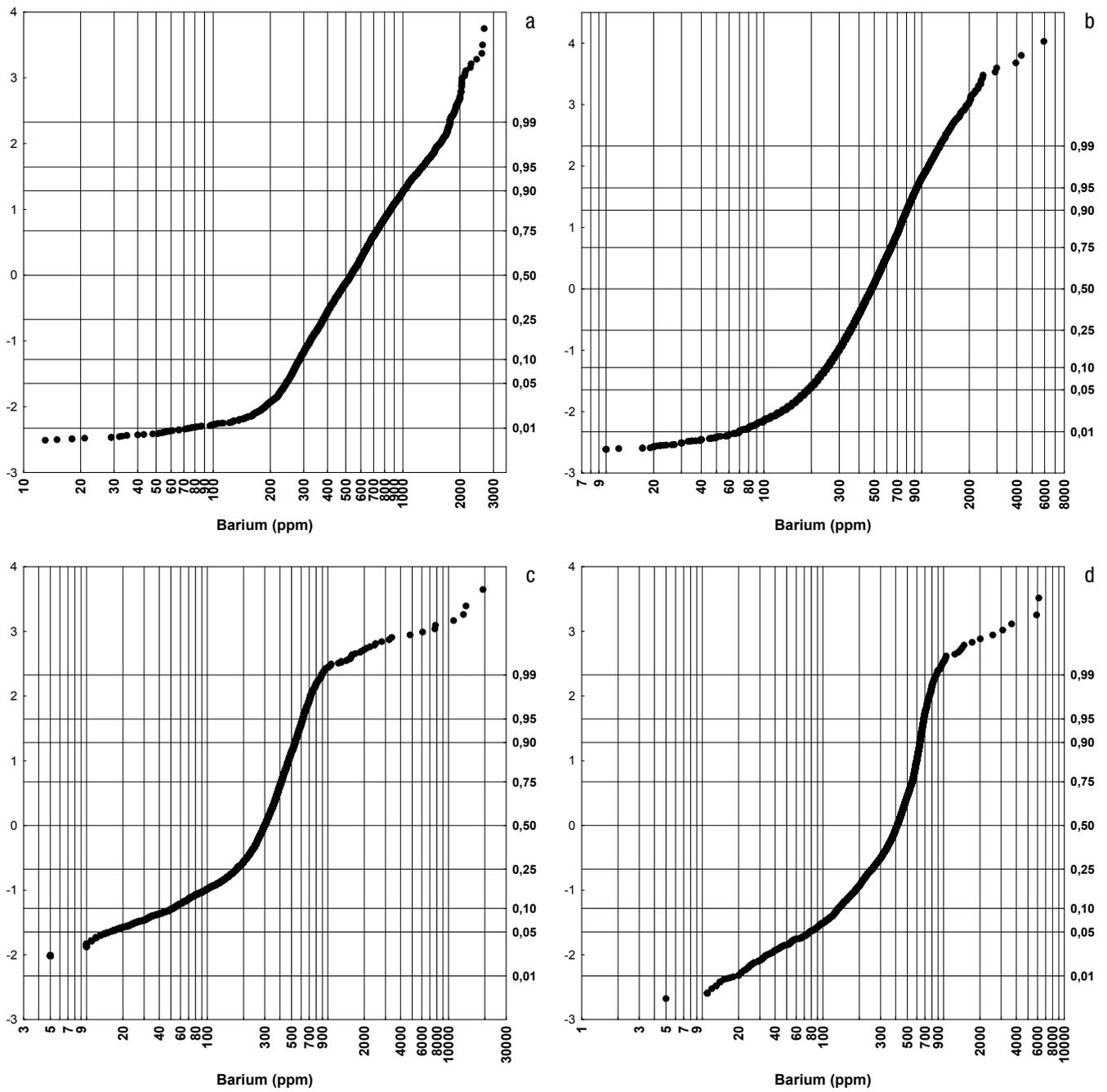


Abb. 35. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Barium in ppm; Böhmisches Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

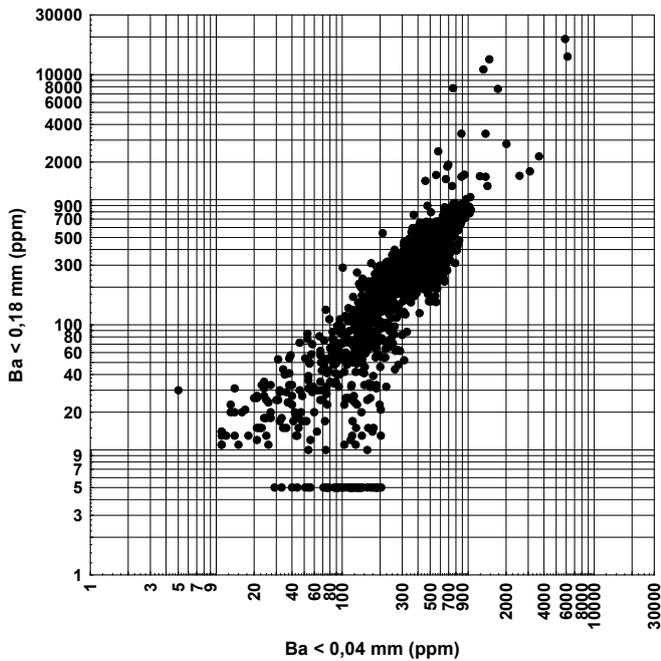


Abb. 36.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Barium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Geogen gibt es zwei Hauptquellen für Barium in den Bach- und Flusssedimenten:

- Höhere Konzentrationen, die auf den Einbau von Barium im Gitter von Silikaten, insbesondere in Feldspäten, zurückzuführen sind;
- Höhere Konzentrationen, die im Zusammenhang mit Vererzungen stehen; Baryt kann bei vielen Mineralisationen als Gangart auftreten.

Diese beiden Situationen dominieren die Verteilungsmuster von Barium im Bundesgebiet. Die erste Quelle (a) bestimmt die Verteilungsmuster von Barium in den Kristallserien der Böhmisches Masse. Auch die räumlichen Verteilungsmuster von Barium in den ostalpinen Kristallinseinheiten mit Konzentrationen bis etwa 1.000 ppm dürften mit dieser Quelle in Zusammenhang stehen.

Die meisten kleinräumigen bis lokalen Vorkommen höherer Konzentrationen können der zweiten Quelle (b) und damit bekannten Vererzungen und Altbergbauarealen zugeordnet werden.

Ganz deutlich hebt sich natürlich der Bereich um die Pb-Zn-Vererzungen im Drauzug (Altbergbauareal Bleiberg-Kreuth) heraus.

Aber auch kleine, lokale Vorkommen können nachgewiesen werden, wie z.B. das Barytvorkommen vom Semmering, die zahlreichen Vererzungen im Raum Friesach oder entlang der Trias-Basis der Nördlichen Kalkalpen. Bei günstiger Lage eines Altbergbauareals zum Gewässersystem ist oft der Austrag aus Halden auch weiter zu verfolgen – so z.B. im Gollraderbach bis Gusswerk (südlich Mariazell) oder am anderen Ende des Bundesgebietes im Bereich des ehemaligen Bergbaus St. Christoph am Arlberg.

Auch das Fehlen höherer Ba-Konzentrationen kann aussagekräftig sein. So finden sich im Umfeld der Pb-Zn-Vererzungen in den westlichen Nordtiroler Kalkalpen (Imst, Nassereith, Fernpass) keine Hinweise aus der Ba-Verteilungskarte. Dies bestätigt die Erfahrung, dass in diesem Mineralisationstyp kaum oder kein Baryt als Mineralisationsanteil oder als Gangart bekannt ist.

In den quartären und neogenen Lockersedimentserien (Molassezone, Wiener Becken, ostalpine Randbecken im Burgenland und der Steiermark, inneralpine Becken) hängt die jeweilige Ba-Konzentration von der Lithologie der ehemaligen Liefergebiete ab.

Be – Beryllium (Abb. 37–39)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; seltenes Erdalkalielelement, das sich in den fluiden Restlösungen saurer Magmen angereichert hat und über Verwitterungsprozesse in die unterschiedlichen sedimentären Kreisläufe gelangt ist; häufig in Assoziation mit Lithium, Bor, Zinn, Niob, Tantal, Thorium, Uran und Wolfram. Bevorzugte Konzentrationen in Pegmatiten, Skarn- und Greisenmineralisationen im Gefolge von intrusiven Graniten und Alkaligesteinen. Be-reiche Minerale sind mengenmäßig nur von untergeordneter Bedeutung; Spurenelement in Plagioklas (wahrscheinlich mengenmäßig der größte Träger von Beryllium in der Erdkruste), Glimmern, Tonen und Pyroxenen. Kohlenaschen enthalten bis zu 100 mg/kg Be.

Häufigkeit (Be in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	1,9 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,2 ⁷
basische Gesteine	0,5 ²
intermediäre Gesteine	1,8 ¹
granitische Gesteine	5,0 ²
Tonschiefer	3,0 ⁵
Sandsteine	0,X ³
Karbonatgesteine	0,X ³
Unterböden	< 2,0 ⁴

* 0,X – Wert im Zehntelprozentbereich.

Wichtige Berylliumminerale

Beryll (5 % Be), Helvin (5 %), Beryllonit (7 %), Chrysoberyll (7 %), Euklas (6 %), Gadolinit (4 %), Phenakit (16 %).

Beryllium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Aegirin	10
Allanit	1.000
Axinit	10
Cassiterit	10
Datolith	10
Nosean	100
Pyrophyllit	bis 5.000
Turmalin	100
Uraninit	10
Vesuvian	bis 33.000
Zirkon	10

Technogene Herkunft

Verwendung in elektrotechnischen Produkten, als wichtiger Werkstoff im Flugzeug- und Raketenbau bzw. in der Reaktorindustrie (Hüllenmaterial für Brennstäbe, Neutronenreflektor) sowie in der Glas- und Keramikindustrie und als Austrittsfenster bei Röntgenbestrahlungsanlagen; technogen gelangt Beryllium hauptsächlich über Kohleverbrennung in die Umwelt.

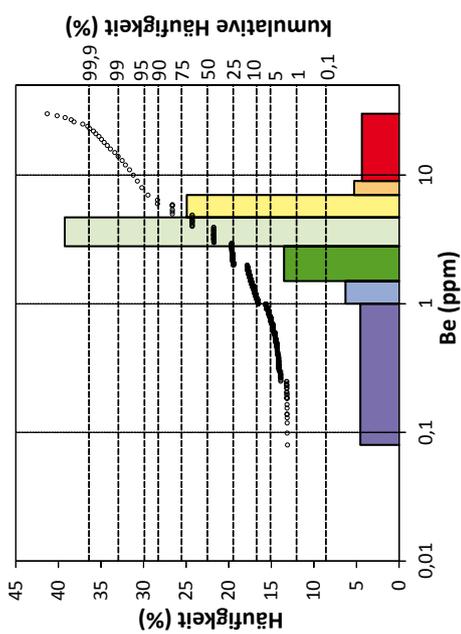
Verhalten in der Umwelt

Kein Bioelement; toxisch für Pflanzen und Tiere. Verhalten in der Umwelt größtenteils unbekannt bzw. noch nicht im Detail untersucht. Obwohl Beryllium und seine Verbindungen hinsichtlich Ingestion kaum toxisch sind, kann die Inhalation ihrer Stäube schwere Lungenschäden bis zu Lungenkrebs hervorrufen. Mobilität als gering bis sehr gering eingeschätzt. Ein Be-Umweltmonitoring ist wegen der möglichen negativen Auswirkungen auf aquatische Biota und das Wurzelsystem von Pflanzen wichtig.

Beryllium wird durch Karbonat- und Phosphat-Barrieren gefällt; Sorption an Tonmineralen und organischer Substanz; in Bachsedimenten im Vergleich zum Ausgangsgestein sowohl in der Schwermineral- als auch in der Feinfraktion angereichert.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁷ VINOGRADOV (1962), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Beryllium (Be)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.215

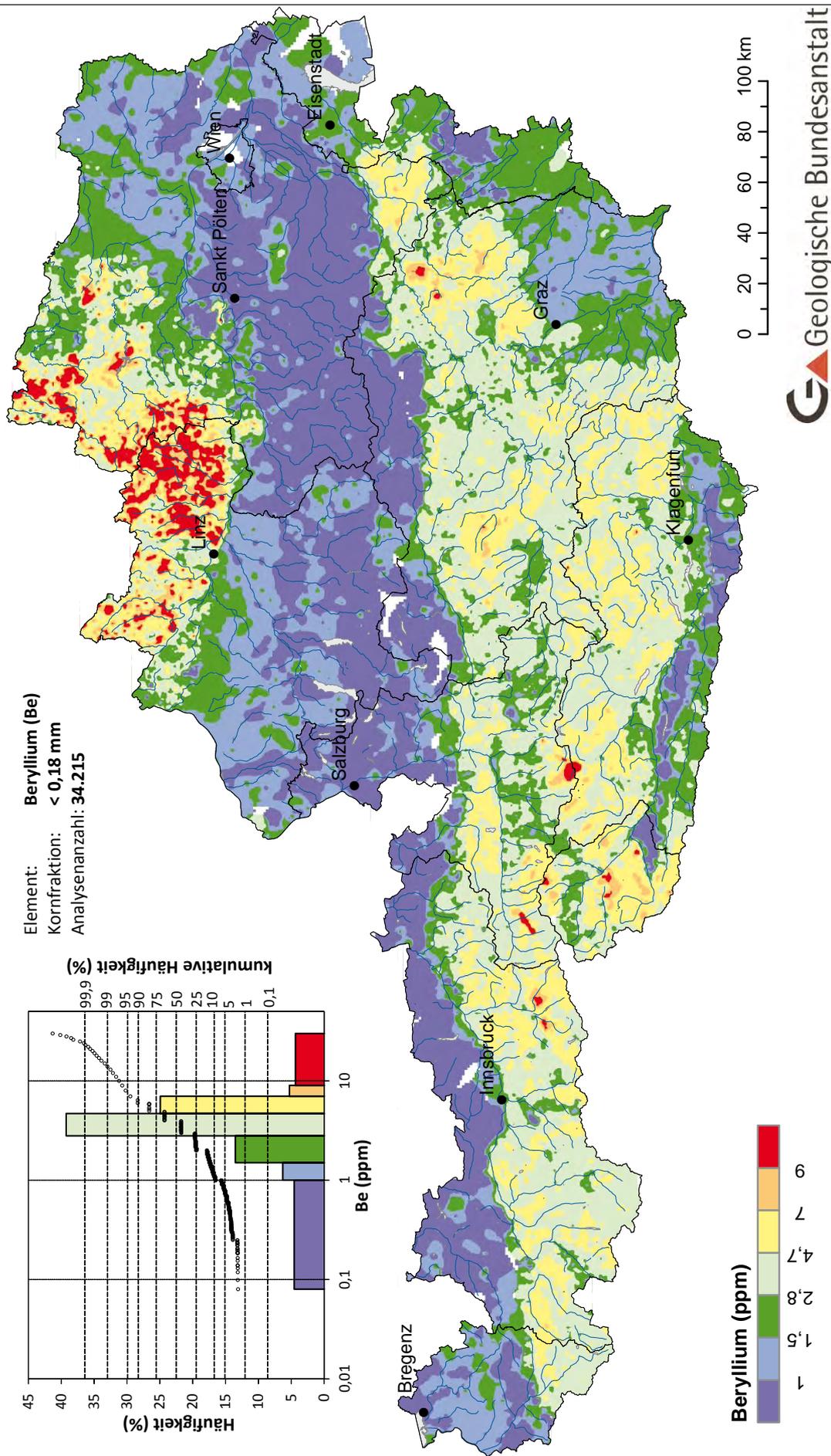


Abb. 37. Berylliumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

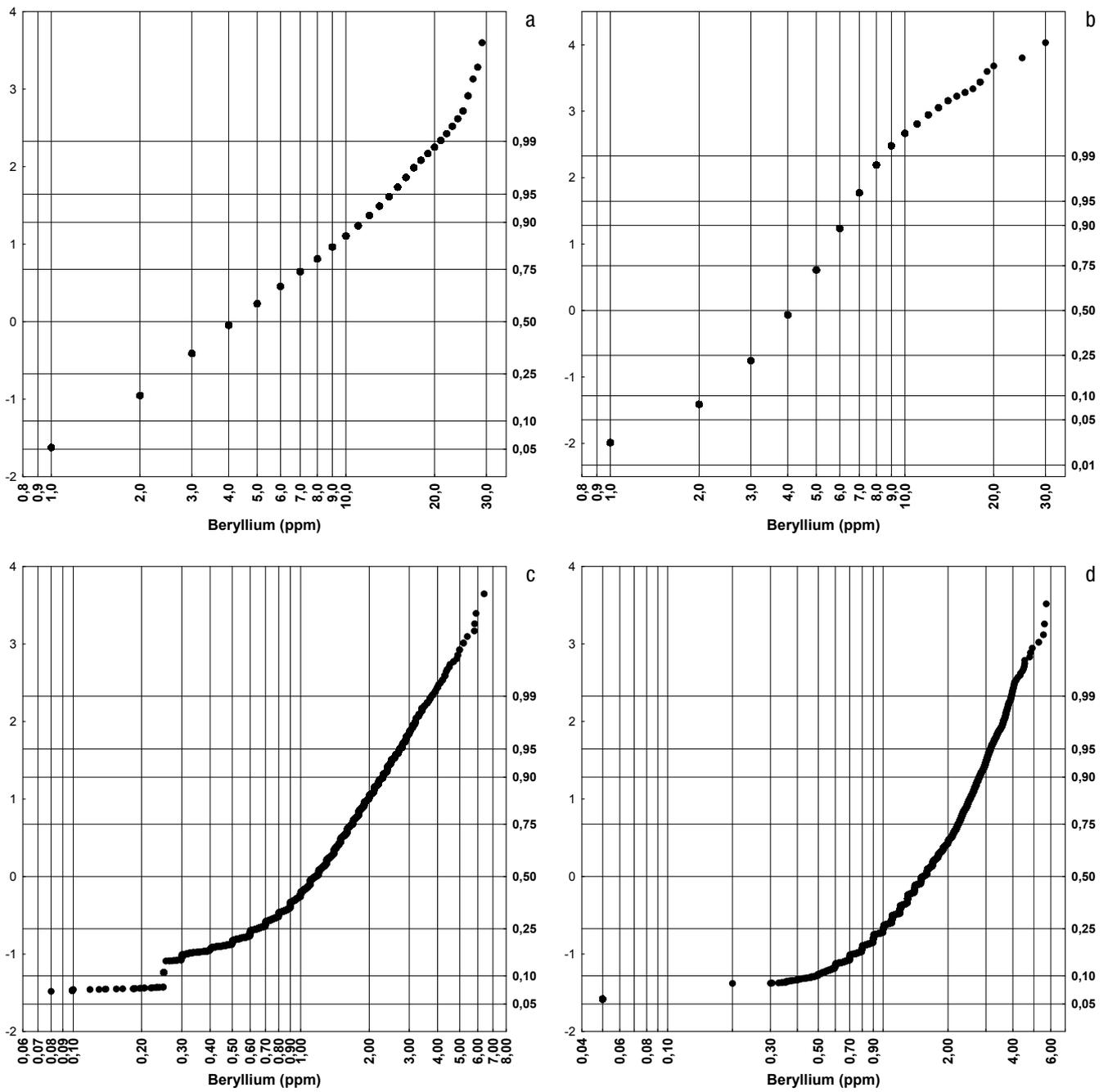


Abb. 38. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Beryllium in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

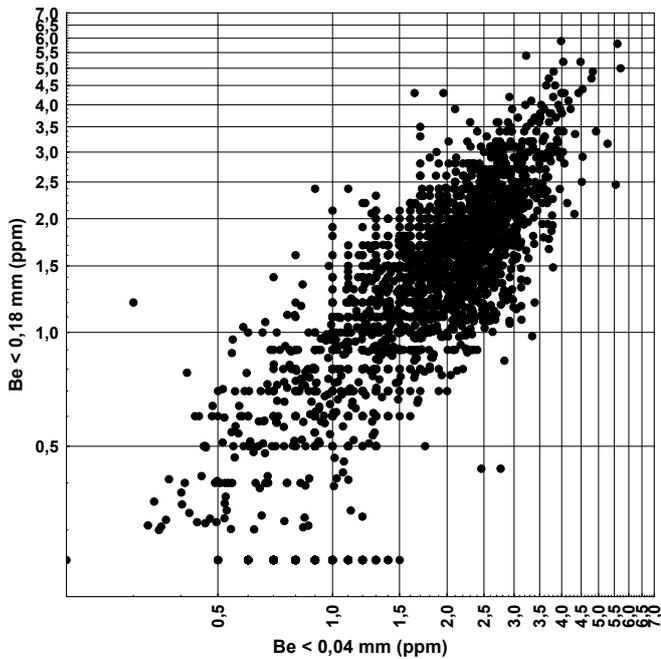


Abb. 39.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Beryllium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Auch für das Element Beryllium weist die räumliche Verteilung in Bach- und Flusssedimenten auf rein geogene Quellen hin. Großflächigen Grundgehalten bis etwa 2 ppm stehen Maxima von 20 bis 30 ppm mit doch regionaler Ausdehnung gegenüber.

Gesteinsserien mit höheren Konzentrationen an Beryllium sind saure Magmatite (insbesondere Granite, Granitoide, Pegmatite). Aus diesem Grund finden sich diese regional höheren Konzentrationen im Bereich der Granite und sauren Migmatite in der Böhmisches Masse. Auch Granitoide und bestimmte Orthogneise in den ostalpinen Kristallineinheiten und dem Subpennikum werden durch höhe-

re Be-Konzentrationen markiert (z.B. Zentralgneise Hohe Tauern, Orthogneise Wechselgebiet). In den Hohen Tauern gibt es darüber hinaus zahlreiche Fundstellen von Be-führenden Mineralen (z.B. Phenakit).

Tonschiefer und/oder phyllitische Gesteinsserien, in deren ehemaligen Liefergebieten Granite oder Granitoide vorherrschten, können ebenfalls höhere Grundgehalten von Beryllium aufweisen (etwa zwischen 5 bis 10 ppm), wie z.B. in der Grauwackenzone, im Grazer Paläozoikum, in Osttirol oder den Gurktaler Alpen).

Sehr niedrige Grundgehalten finden sich verbreitet in der Molassezone, im Helvetikum und Flysch, den Kalkalpen sowie den inneralpinen Becken.

Ca – Kalzium (Abb. 40–42)

Geogene Herkunft

Lithophiles Hauptelement, fünfthäufigstes Element in der Erdkruste; wichtiger Bestandteil von vielen Mineralen in magmatischen und sedimentären Gesteinen. Tritt in der Erdkruste überwiegend in Karbonatgesteinen (insbesondere Kalksteine; Dolomite) in enger Assoziation mit Magnesium, Mangan und Strontium auf, daneben in Sulfaten (Gips, Anhydrit), Silikaten (Feldspäte, Amphibole, Pyroxene), Phosphaten (Apatit) und Fluoriden (Flussspat).

Häufigkeit (Ca in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	2,6 ⁶
ultrabasische Gesteine	2,5 ³
basische Gesteine	6,7 ²
intermediäre Gesteine	4,1 ¹
granitische Gesteine	1,6 ²
Tonschiefer	1,6 ⁵
Sandsteine	3,9 ³
Kalksteine	30,2 ³
Dolomitgesteine	16,0 ³
Unterböden	0,8 ⁴

Wichtige Kalziumminerale

Calcit (40 % Ca), Fluorit (51 %), Apatit (40 %), Wollastonit (35 %), Anhydrit (29 %), Zeolith (29 %), Gips (23 %), Dolomit (22 %), Ankerit (20 %).

Kalzium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Analcim	bis 84.000
Andalusit	1.000
Anthophyllit	bis 20.000
Coelestin	bis 9.000
Enstatit	1.000
Glaukonit	bis 8.000
Goethit	1.000
Illit	bis 11.000
Magnesit	bis 10.000
Malachit	1.000
Monazit	bis 45.000
Muskovit	bis 30.000
Nephelin	bis 30.000
Nosean	bis 30.000
Orthoklas	Ø 2.900
Phlogopit	bis 12.000
Pyromorphit	bis 60.000
Pyrophyllit	bis 5.000
Rhodochrosit	bis 55.000
Serpentin	bis 100.000
Siderit	bis 26.000
Spodumen	1.000
Strontianit	bis 90.000
Thorit	bis 4.000
Turmalin	bis 15.000
Zirkon	bis 40.000

Technogene Herkunft

Vielfältige Verwendung in der Bauindustrie (Zement, Branntkalk u.a.), bei der Erzeugung von Düngemitteln, Füllstoff in der Kunststoff- und Papierindustrie, als Zuschlag bei Metallverhüttung und in der chemischen Industrie (u.a. zum Reinigen von Edelgasen und Trocknen von Alkohol); Metallisches Kalzium als Reduktionsmittel in der Metallurgie zur Herstellung von Metallen wie Thorium, Vanadium, Zirkonium, Yttrium und anderen Metallen der Seltenen Erden, als Reduktionsmittel in der Stahl- und Aluminiumherstellung, als Legierungszusatz in Aluminium-, Beryllium-, Kupfer-, Blei- und Magnesiumlegierungen und als Ausgangsstoff für die Herstellung von Kalziumhydrid.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement für fast alle Organismen (Knochen, Zellwände, Schalen). Nicht toxisch. Leicht löslich; wirkt zusammen mit CO₂ und Bikarbonat HCO₃ als pH-Puffer in Wasser und Sediment (pH > 6); Austauschbarkeit im Boden gegen Natrium bei pH 5–8; Ca-Verlust in sauren Böden; Anthropogene Beeinflussung kaum erkennbar und unbedenklich.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

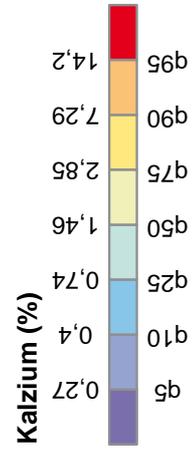
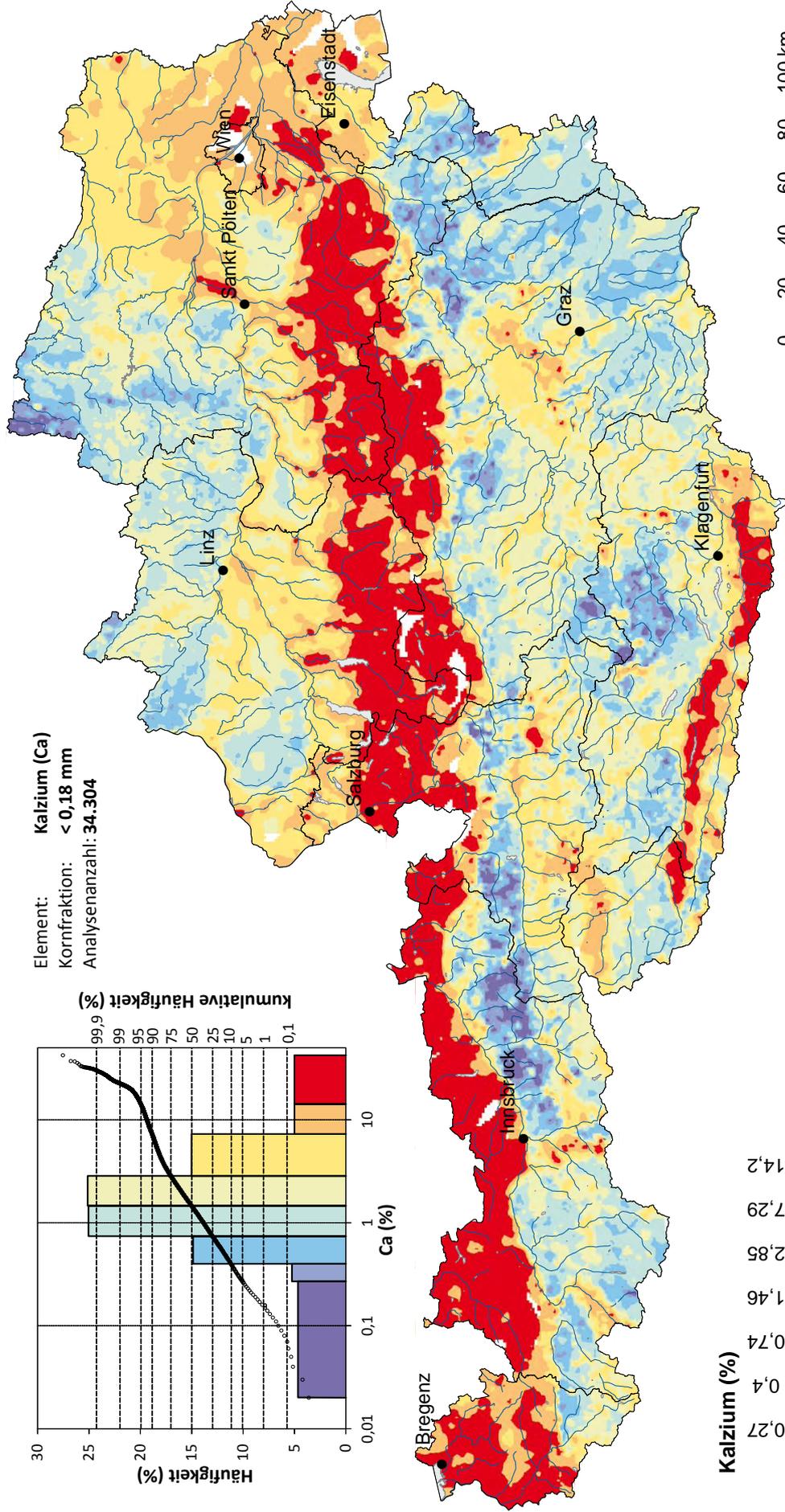
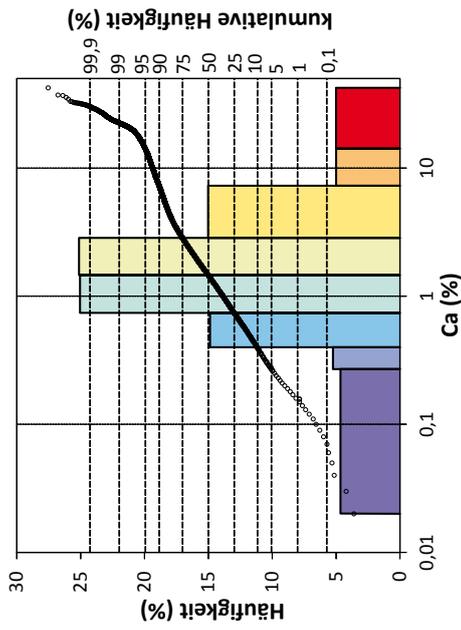


Abb. 40.
 Kalziumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

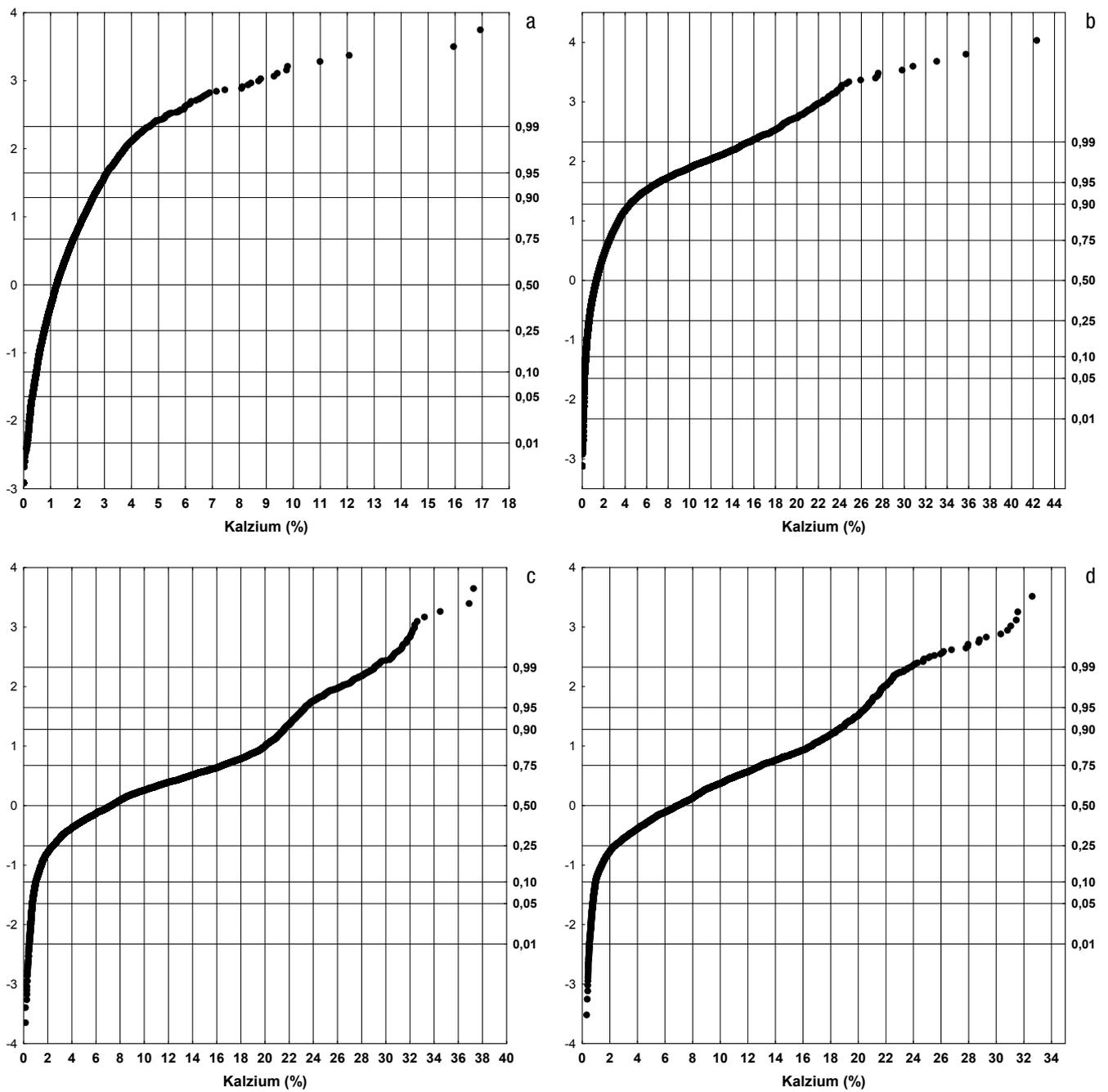


Abb. 41.
 Kumulative Häufigkeitsverteilung für Kalzium in %; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

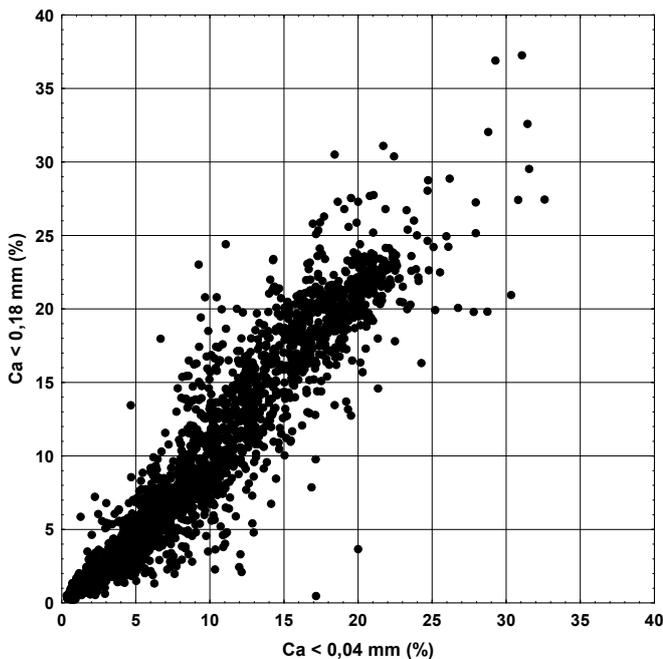


Abb. 42.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Kalzium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die Ca-Verteilung in den Bach- und Flusssedimenten verweist einerseits auf die Vorkommen von Karbonatgesteinen (Kalksteine, Dolomite, Kalkmergel, Marmore u.a.) in den Einzugsgebieten, andererseits spiegelt sie innerhalb der nichtkarbonatisch-kristallinen Serien die unterschiedliche Verbreitung Ca-führender Silikatminerale (Epidot, Amphibole, Plagioklase) wider.

Testverrechnungen der Analyseergebnisse für CaO und MgO (+ Glühverlust bei 1.000 °C » CO₂) im Bereich der Nördlichen Kalkalpen belegen, dass an Hand der Sedimentanalytik gebietsweise sogar eine Qualitätsaussage zu den (Rein-)Karbonaten im Einzugsgebiet möglich ist. Zumindest ist damit eine erste lithologisch-gesteinsgeochemische Charakterisierung der Einzugsgebiete durchaus aussagekräftig. Dies gilt nicht nur für die Nördlichen Kalkalpen, sondern auch für Drauzug und Karawanken.

Mit dieser Sedimentanalytik wird auch der durchwegs karbonatische Charakter der Molassezone und des Helveti-

kums in Vorarlberg belegt. Räumlich eng verknüpfte karbonatische und nichtkarbonatische Serien – wie z.B. in den oberen und unteren Penninischen Decken oder im Grazer Paläozoikum – werden durch die Verteilung der unterschiedlichen Ca-Konzentrationen nachgezeichnet. Vergleichbares gilt auch für Marmorserien in kristallinen Gesteinsabfolgen. Auch sehr lokale, meist isolierte Karbonatvorkommen werden nachgewiesen (z.B. Brennermesozoikum, Kalkspitzen in den Radstädter Tauern, Mesozoikum östlich des Krappfeldes).

Hinzuweisen ist auf das Phänomen, dass Flüsse, die in den Kalkalpen entspringen (z.B. Traun, Alm, Steyr, Ybbs, Traisen, Triesting, Piesting u.a.), ihre karbonatische Matrix bis zur Mündung beibehalten. Ansonsten lassen die eher niedrigen Ca-Konzentrationen im Bereich der Molassezone und der inneralpinen Becken darauf schließen, dass die Liefergebiete der quartären und neogenen Locker sedimentserien überwiegend aus nichtkarbonatischen Gesteinsserien waren.

Cd – Cadmium (Abb. 43–44)

Geogene Herkunft

Chalkophiles Spurenelement, häufig assoziiert mit Kalzium, Zink und Quecksilber; Spuren- und Nebenelement in Sulfiden (insbesondere in Sphalerit – bis zu 5 % – und Galmei). Geogen angereichert in zinkreichen Sulfidlagerstätten; reine Cadmiumminerale in Form von Sulfiden (Greenockit, Hawleyit), Karbonat (Oktavit) oder von Oxid (Monteponit) kommen eher selten vor. Cd-Anreicherungen erfolgen auch im sedimentären Milieu (Phosphate – im Mittel etwa 15 mg/kg, Kohlen – bis zu 30 mg/kg).

Häufigkeit (Cd in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	0,06 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,05 ⁷
basische Gesteine	0,2 ²
intermediäre Gesteine	0,1 ¹
granitische Gesteine	0,2 ²
Tonschiefer	0,3 ⁵
Sandsteine	0,01 ⁸
Karbonatgesteine	0,03 ³
Unterböden	0,09 ⁴

Wichtige Cadmiumminerale

Greenockit (78 % Cd), Oktavit (61,5 %), Sphalerit (bis 5 %) Stannin (bis 1,5 %), Smithsonit (bis 0,3 %).

Cadmium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm) ^{8,9}

Boulangerit	10
Bournonit	100
Chalkopyrit	80
Galenit	70
Rhodochrosit	100
Sphalerit	bis 50.000
Tennantit	10
Wurzit	1.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Nickel-Cadmium-Batterien, Pigmenten, als Korrosionsschutz, Stabilisator für Kunststoffe, in Legierungen, Lagermetallen sowie für Neutronenabsorber in der Nukleartechnik, als Oberflächenschutz für Metalle, Stabilisatoren und Katalysatoren in der Organochemie und in Farben und Pigmenten. Ausbreitung in der Umwelt über Metallverhüttung (Zn, Cu), Düngemittel (Phosphatdünger), Reifenabrieb, Kohleverbrennung, Klärschlamm, Müllverbrennung u.a.

Verhalten in der Umwelt

Cadmium gilt als nicht-essenzielles Element für Pflanzen, Tiere und Menschen. Allgemein gilt Cadmium als hoch toxisches Schwermetall, das sogar in kleinsten Konzentrationen in verschiedenen Umweltkompartimenten eine schwerwiegende Gesundheitsgefahr darstellt.

Entscheidend für die Mobilität ist der pH-Wert, wobei die Mobilität in saurem Milieu zunimmt; Abnahme der Adsorption bei abnehmendem pH-Wert. Diese Mobilität wird beispielsweise durch die ständig zunehmende Versauerung von Unterböden verstärkt. Adsorption erfolgt vor allem an organischer Substanz und an Tonmineralen. Unter reduzierenden Bedingungen weniger mobil (möglicherweise aufgrund der Fällung von Cadmiumsulfid) als unter oxidierenden Bedingungen. Die Mobilität von Cadmium in wässrigen Phasen wird durch Karbonat-Ionen erniedrigt. In Sedimenten erhöhen die Abnahme des pH-Wertes, organische Komplexbildner, aber auch Redox-Reaktionen die Mobilität von Cadmium. Die wichtigste Cd-Quelle für den Menschen ist die Aufnahme über die Nahrungskette. Cadmium wird in unterschiedlichem Ausmaß in aquatischen Biota und in Pflanzen aufgenommen und tendiert dabei zur Akkumulierung; hohe bis höhere Gehalte finden sich bisweilen in Pilzen, Reis, Weizen und Blattgemüse.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁷ VINOGRADOV (1962), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

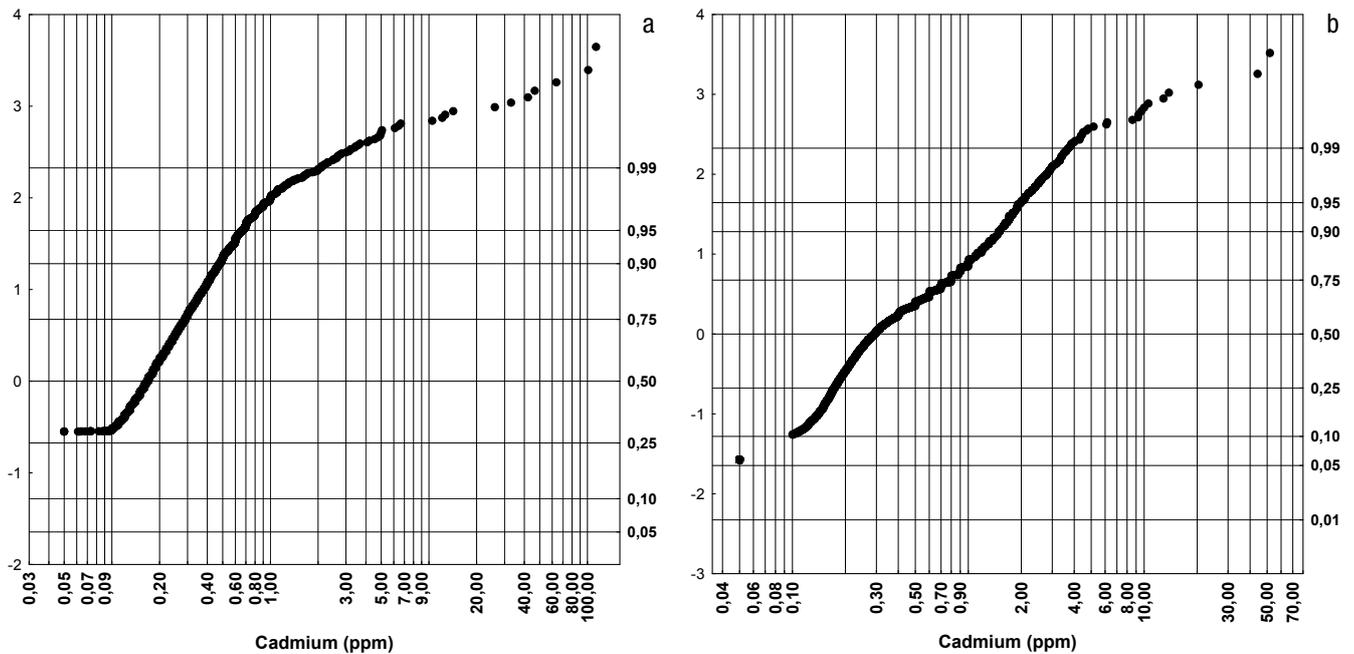


Abb. 43. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Cadmium in ppm; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) und < 0,04 mm (b).

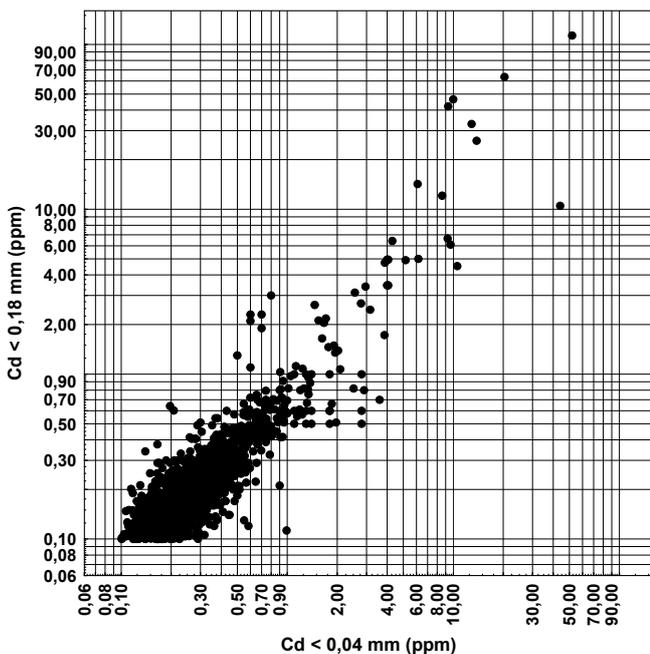


Abb. 44. Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Cadmium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Cadmium stellte lange Zeit ein Problem für die Analysetechnik dar. Erst ab Mitte der 1990er Jahre konnten auch niedrige Konzentrationen gesichert nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wird auch keine flächige Darstellung für die Analysedaten dieses Elements vorgelegt.

Die spezifischen Analyseergebnisse für die Projekte in Nieder- und Oberösterreich lassen zudem darauf schließen,

dass nicht nur technische Probleme mit der Analytik dieses Elements auftraten, sondern auch inhaltliche Brüche innerhalb der Durchführung eines Projektes infolge veränderter Bestimmungs-(Nachweis-) Grenzen entstanden. Bei der Verwendung der Cd-Analysedaten sind diese Probleme jeweils zu berücksichtigen. Als gesichert anzusehen sind die Analyseergebnisse für Cadmium im Umfeld der Pb-Zn-Vererzungen in den westlichen Tiroler Kalkalpen, im Drauzug und den Karawanken.

Ce – Cer (Abb. 45–48)

Geogene Herkunft

Häufigstes Element der Gruppe der lithophilen Seltenen Erden. Anreicherung mit zunehmender Alkalisierung der Magmen und vor allem an Schwermineralen (Monazit, Bastnäsit, Allanit) saurer Gesteine gebunden. Spuren- und Nebenelement in Ca-Mineralen, wie Apatit, Titanit, Epidot u.a. Starke Assoziation mit Lanthan; Ce/La-Verhältnis vorwiegend 2–3.

Häufigkeit (Ce in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	63 ⁶
ultrabasische Gesteine	8 ¹
basische Gesteine	48 ¹
intermediäre Gesteine	81 ¹
granitische Gesteine	92 ¹
Tonschiefer	82 ⁵
Sandsteine	22 ³
Karbonatgesteine	11 ³
Unterböden	54 ⁴

Wichtige Cerminerale

Bastnäsit (bis 98 % in Oxiden der Seltenen Erden), Monazit (ca. 30 % Ce-Oxid), Pyrochlor bzw. Koppit (5,8–6,9 % Ce), Lowchorrit mit 7,99 % Ce-Oxid, Loparit (16,29 % Ce-Oxid), Orthit (10–18 %), Parisit, Cerit, Xenotim, Euxenit, Betafit und Fergusonit.

Weitere Cerminerale

Braitschit	bis 6,8 % Ce
Britholit	22,5 % Ce ₂ O ₃
Cerianit	ca. 80 % CeO ₂
Florencit	bis 30 % (Ce+SEE) ₂ O ₃ *
Gadolinit	bis 24,5 % Ce ₂ O ₃
Iraqit	15,06 % (Ce+SEE) ₂ O ₃ *
Karnasurtit	17 % (Ce+SEE) ₂ O ₃ *
Keilhaut	bis 12 % (Y, Ce) ₂ O ₃
Laplandit	16,8 % (Ce+SEE) ₂ O ₃ *
Melanocerit	bis 56 % (Ce+SEE) ₂ O ₃ *
Okanoganit	15,4 % C ₂ O ₃
Vigezzit	10,5 % C ₂ O ₃
Yttrocerit	bis 14,1 % Ce

* SEE = Seltene Erden Elemente.

Cer als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Apatit	1.000
Eudialyt	1.000
Fluorit	100

Technogene Herkunft

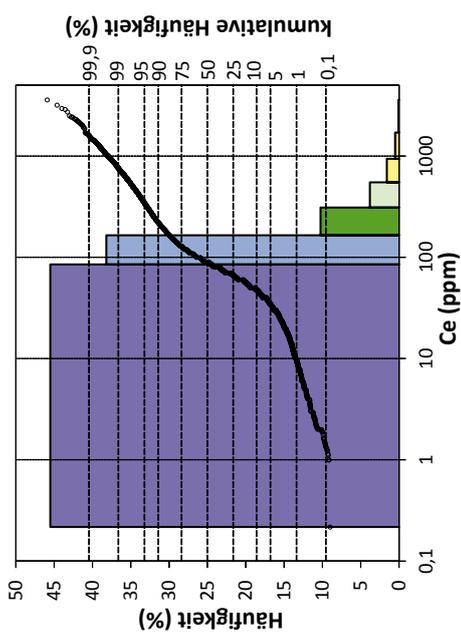
Verwendung in Zündsteinen, Schleifmitteln, Gläsern, Keramik, Legierungen, Bogenlampenkohlen, Pyrotechnik sowie als Katalysatoren. Technologischer Eintrag in die Umwelt ist unbedeutend.

Verhalten in der Umwelt

Wahrscheinlich nicht essenzielles Spurenelement für Organismen. Geringe Toxizität. Die Substitution von Kalzium durch Cer in Knochenmaterial kann zu Problemen im Skelettaufbau führen; verschiedene gesundheitsbeeinträchtigende Auswirkungen wird auch der direkten Inhalation von Cer-Staub zugeschrieben; Mobilität von Cer ist auf Grund der geringen Verwitterbarkeit der Schwerminerale sehr gering. In Bachsedimenten entsprechend der vorherrschenden geogenen Bindung in der Schwermineralfraktion angereichert.

¹ GOVETT (1983), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Cer (Ce)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.306

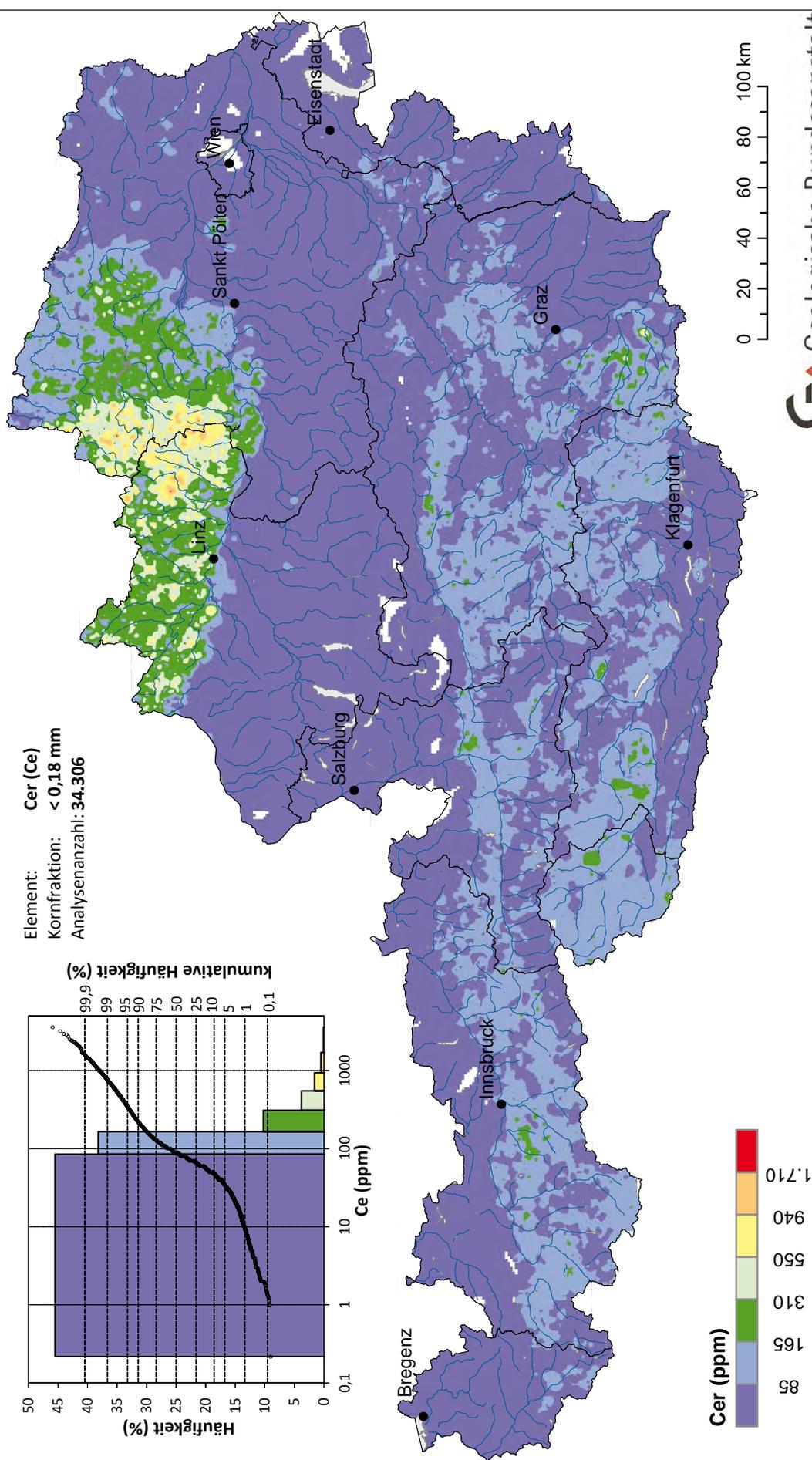


Abb. 45. Cerverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

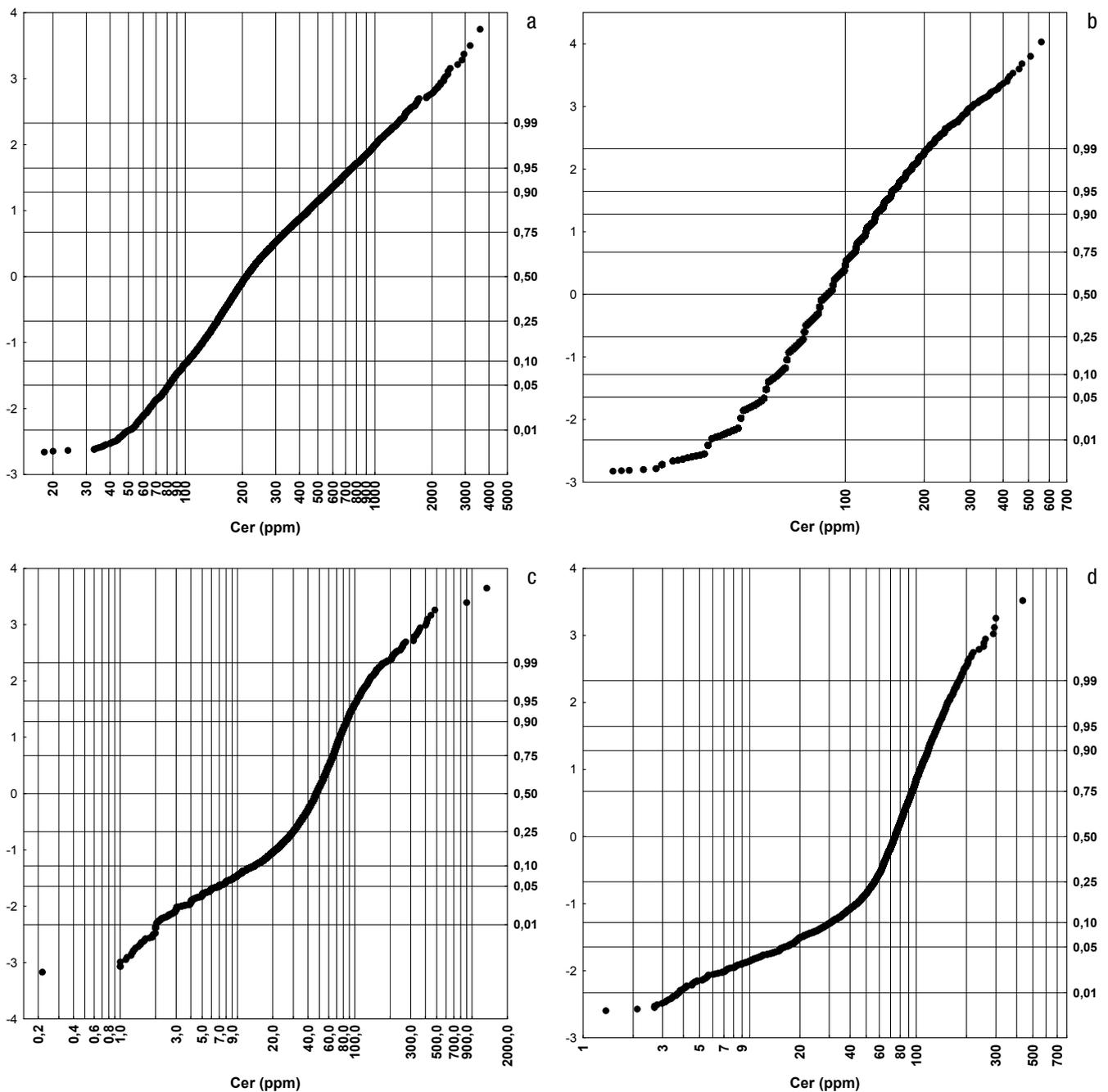


Abb. 46. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Cer in ppm; Böhmisches Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Cer ist in den Bach- und Flusssedimenten an das Vorkommen von Schwermineralen gebunden (insbesondere Monazit). Die jeweilige Elementkonzentration im Sediment ist daher nicht nur von der Lithologie des Einzugsgebietes abhängig, sondern auch von den Transport- und Sedimentationsbedingungen im jeweiligen Bach-/Flussabschnitt. Minerale mit höherem spezifischen Gewicht („Schwerminerale“) werden im Bachverlauf verstärkt direkt unterhalb von Hindernissen abgelagert und damit an bestimmten Stellen angereichert. Auf Grund ihrer durchschnittlichen Korngröße finden sich diese Schwerminerale auch meist in der Feinstfraktion.

In der Gesamtübersicht für die Analyseergebnisse der Kornfraktion < 0,18 mm fallen die verbreitet hohen Konzentrationen (>> 500 ppm) in der Böhmisches Masse auf. Das hat drei Gründe:

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

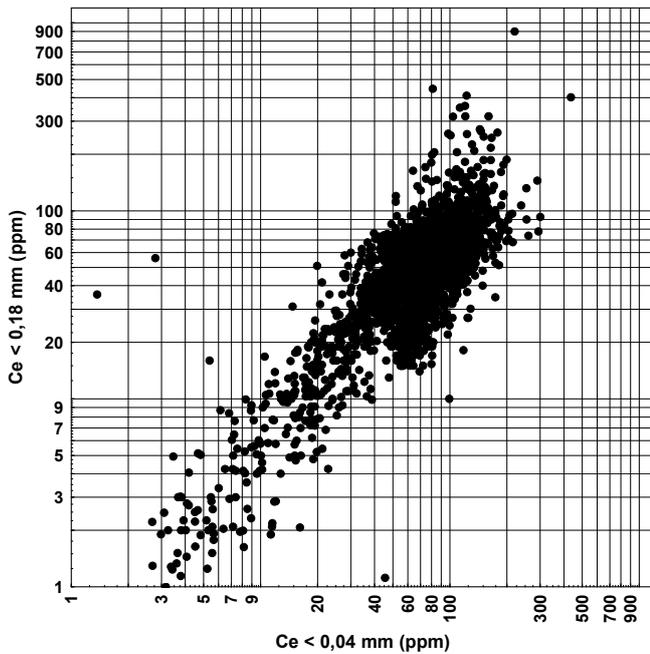


Abb. 47. Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Cer (Bundesländerprojekte).

Durch diese Dominanz der sehr hohen Cer-Konzentrationen in der Böhmischer Masse werden die Verteilungsmuster im übrigen Bundesgebiet bei der Verrechnung des Gesamtdatensatzes undeutlich, da dort kaum Cer-Konzentrationen > 500 ppm anzutreffen sind.

Um die Verteilungsmuster auch in Gebieten verbreitet niedrigerer Ce-Konzentrationen zu verdeutlichen, werden in Abbildung 48 die Analyseergebnisse der Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math> aus den Bundesländerprojekten getrennt dargestellt. Damit wird herausgearbeitet, dass die Konzentrationsminima mit den Karbonatgebieten verknüpft sind. Die größeren Flüsse innerhalb der Zentralzone führen natürlich höhere Schwermineralgehalte und werden somit auch durch höhere Ce-Konzentrationen charakterisiert. Sehr deutlich sind auch die Randeffekte entlang des Südrandes der Böhmischer Masse oder des Ostrandes der Karalpe zu sehen, wo Bäche und Flüsse aus dem Kristallin in die neogenen Becken übertreten. Die durchschnittlichen Ce-Konzentrationen in den quartären und neogenen Lockersedimenten sind ebenfalls nicht sehr hoch, heben sich aber deutlich von den Minima der Kalkalpen ab.

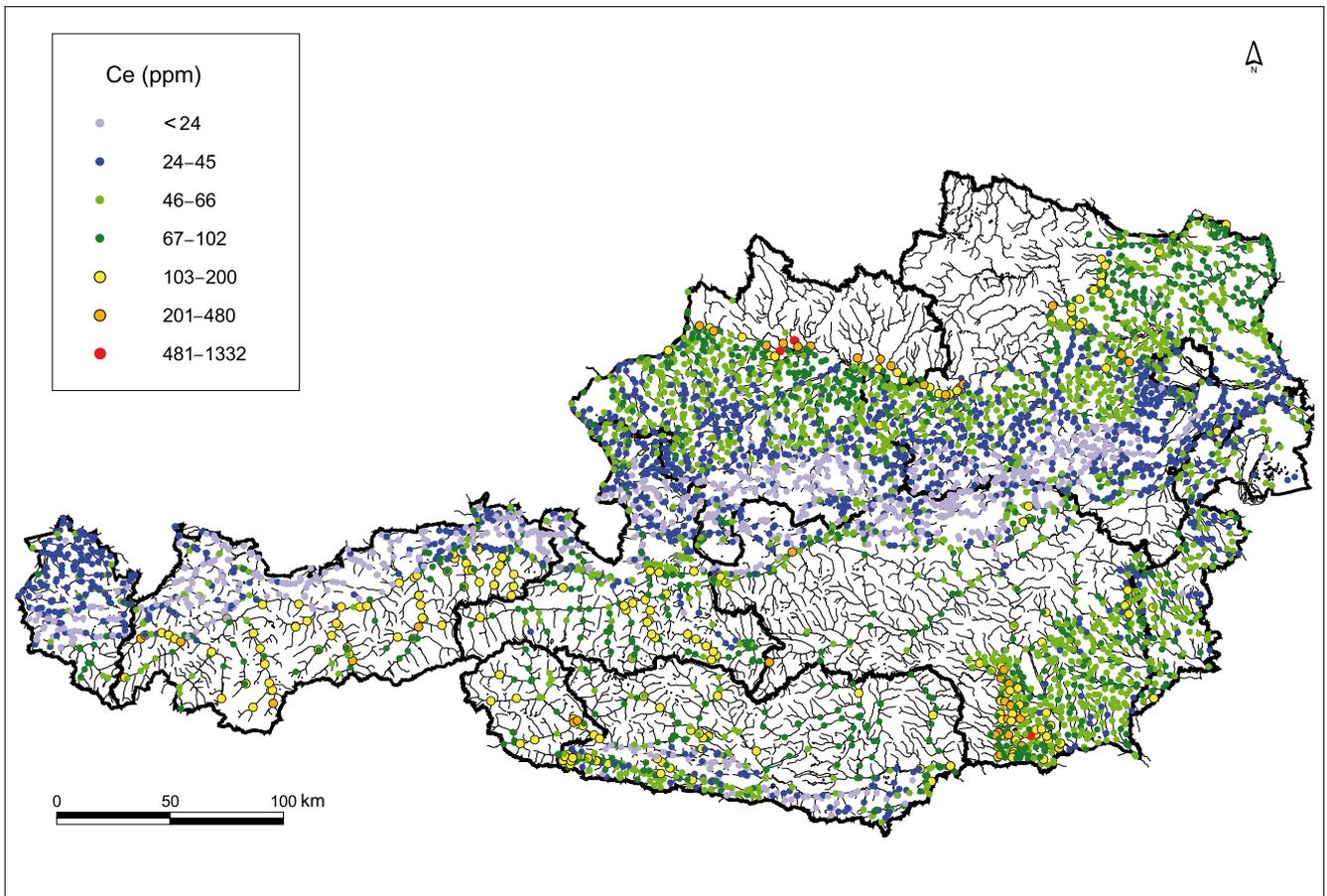


Abb. 48. Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math>, Bundesländerprojekte; Cerverteilung.

Cl – Chlor (Abb. 49–51)

Geogene Herkunft

Element aus der Gruppe der Halogene; geogene Anreicherung in Evaporiten/Haselgebirge (Halit, Sylvit, Carnallit u.a.); primär höhere Hintergrundgehalte in Sedimenten mariner, aber auch arider Entstehung.

Häufigkeit (Cl in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	294 ⁶
ultrabasische Gesteine	85 ³
basische Gesteine	60 ²
intermediäre Gesteine	100 ¹
granitische Gesteine	200 ²
Tonschiefer	180 ⁵
Sandsteine	10 ³
Karbonatgesteine	150 ³

Wichtige Chlormineralie

Halit (61 % Cl), Sylvit (48 %), Sal-Ammoniak (38 %), Carnallit (38 %), Chlorargyrit (25 %), Atakamit (17 %), Kalomel (15 %), Boracit (9 %), Sodalith (7 %), Vanadinit (3 %).

Chlor als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Biotit	1.000
Feldspäte	10
Hauyn	100
Muskovit	100
Nephelin	1.000
Nosean	bis 10.000
Phlogopit	100
Pyroxene	100
Titanit	100

Technogene Herkunft

Verwendung als Ausgangsstoff für Chlorate und Perchlorate (Oxidationsmittel, Unkrautbekämpfung), als Bleichmittel in der Papier- und Zellstoffindustrie, als Zwischenprodukt in vielen organischen Synthesen, zur Desinfektion, als Pflanzenschutzmittel sowie u.a. zum Entzinnen von Weißblech. Eintrag in die Umwelt durch Salzstreuung auf Straßen, Deponiesickerwässern, Klärschlämmen u.a.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement. In oxidierter Form hoch toxisch; Bildung toxischer Chlorverbindungen durch Verbrennungsprozesse; hohe Bioakkumulation organischer Chlorverbindungen (DDT, PCBs etc.); Cl-Ionen werden in Unterböden kaum adsorbiert; sehr hohe Löslichkeit und Mobilität.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

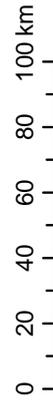
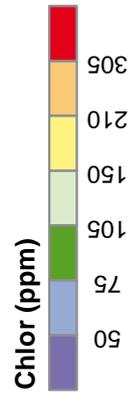
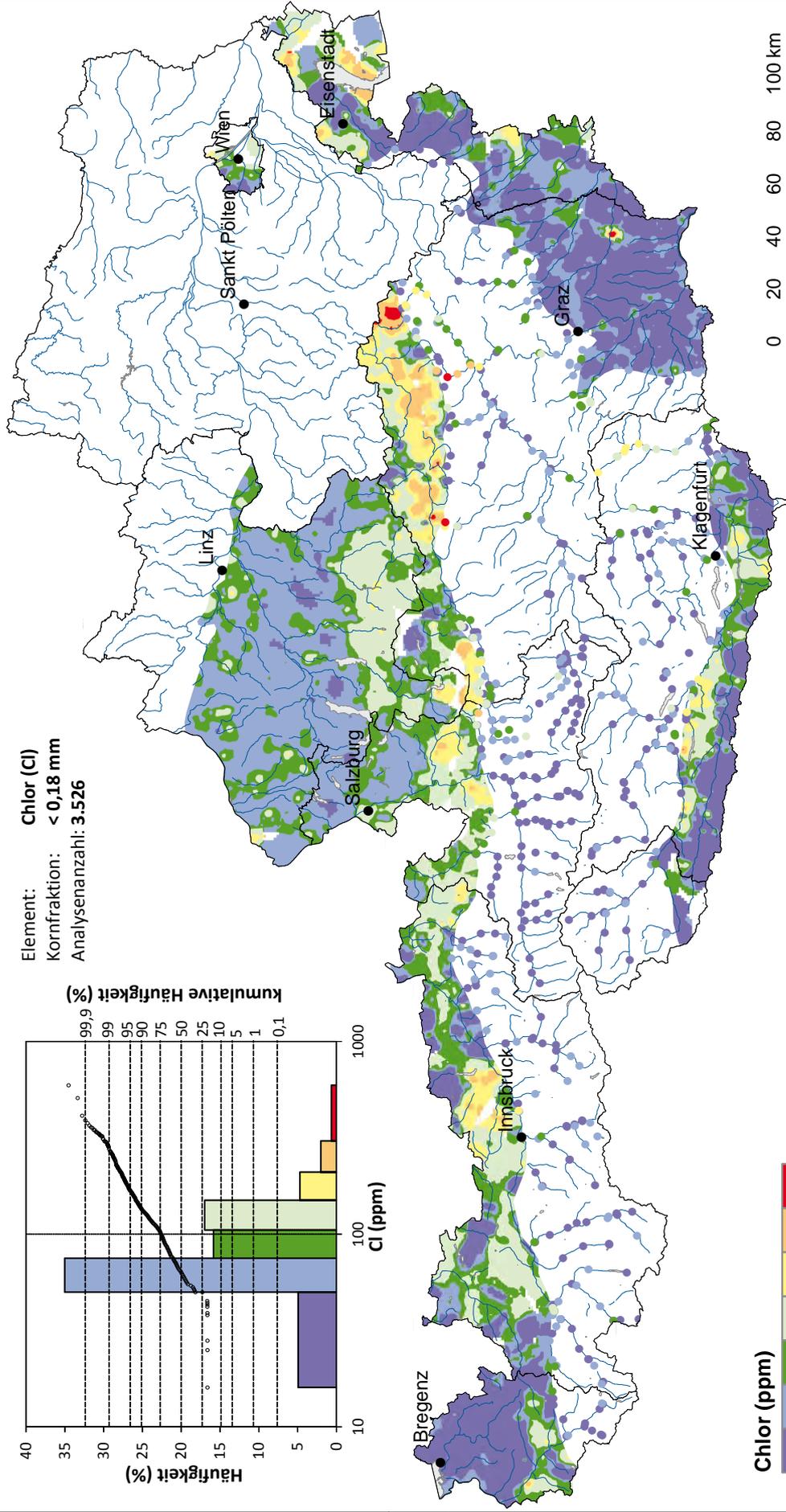
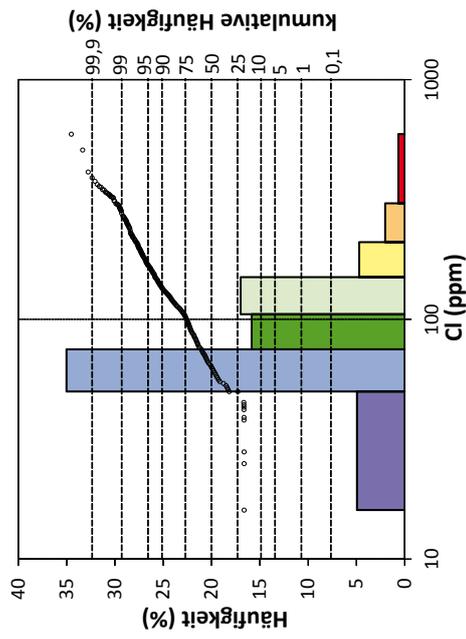


Abb. 49. Chlorverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

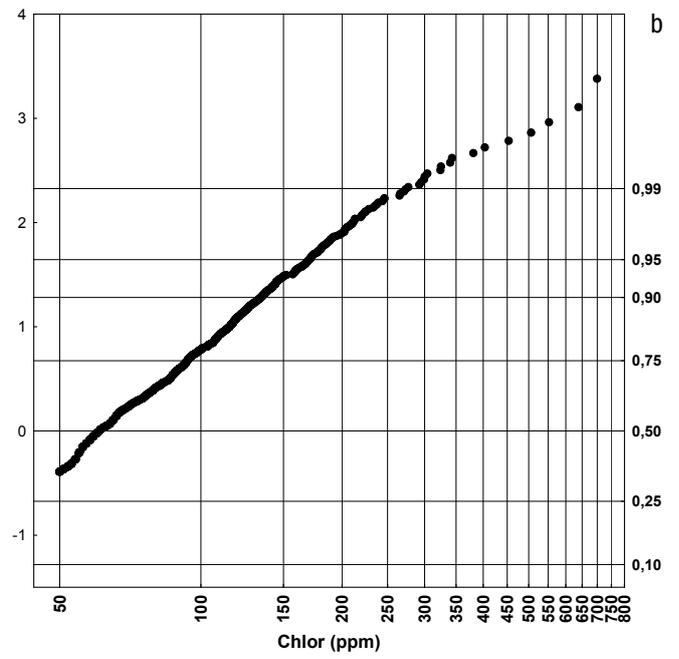
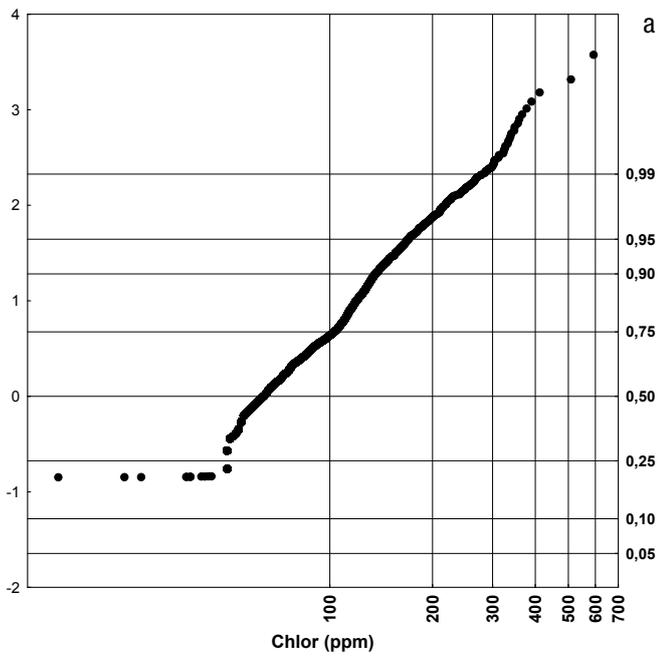


Abb. 50.
Kumulative Häufigkeitsverteilung für Chlor in ppm; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) und < 0,04 mm (b).

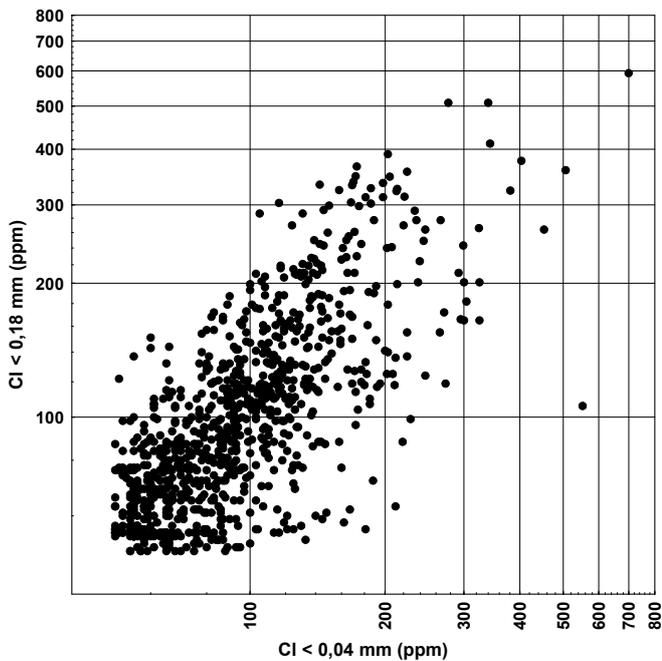


Abb. 51.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Chlor (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Zu Chlorgehalten in Bach- und Flusssedimenten lagen bis vor relativ kurzer Zeit keine Informationen vor. Erst durch die erweiterte Analytik im Rahmen der Bundesländerprojekte sind Überlegungen möglich, welche Aussagen durch diese Analysedaten möglich werden. Einschränkend ist jedoch festzuhalten, dass am Niederösterreich-Probensatz Chlor nicht bestimmt wurde und nur in der Analytik für die Daten von Oberösterreich und Wien eine Bestimmungsgrenze $< 50 \text{ ppm}$ erreicht wurde.

Aus der räumlichen Verteilung der Cl-Konzentrationen in den Sedimenten ist zumindest ein Schluss sofort möglich – es besteht ein enger Zusammenhang zwischen höheren Cl-Konzentrationen und bestimmten Gesteinstypen (Fazies?) in den Kalkalpen. Klar abgrenzbar, werden durch diese Daten Schneealpe, Hochschwab, Gesäuse, Dachstein, Tennengebirge und Karwendel herausgehoben. Diese Zusammenhänge wären im Detail zu prüfen.

Ob auch räumliche Muster in den Cl-Konzentrationen auf Einflüsse aus der Intensivlandwirtschaft zurückzuführen wären, sollte ebenfalls abgeklärt werden.

Co – Cobalt (Abb. 52–54)

Geogene Herkunft

Spurenelement der Eisengruppe mit lithophilen und chalkophilen Eigenschaften; assoziiert mit Nickel, Kupfer, Blei und Eisen in Fe-Mg-Silikaten wie Olivine, Pyroxene, Amphibole; Minerale Linneit $(\text{Co,Ni})_3\text{S}_4$, Cobaltit $(\text{Co,Fe})\text{AsS}$, Safflorit CoAs_2 u.a.; als Spuren- und Nebenelement in zahlreichen anderen Sulfiden (Pyrit, Sphalerit u.a.).

Häufigkeit (Co in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	15 ⁶
ultrabasische Gesteine	150 ³
basische Gesteine	48 ²
intermediäre Gesteine	10 ¹
granitische Gesteine	1 ²
Tonschiefer	19 ⁵
Sandsteine	0,3 ³
Karbonatgesteine	0,1 ³
Unterböden	9 ⁴

Wichtige Cobaltminerale

Linneit (58 % Co), Cobaltin (36 %), Erythrin (30 %), Smalitin (28 %), Safflorit (28 %), Carollit (48,6 %), Cattierit (42 %).

Cobalt als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Ankerit	100
Annabergit	bis 33.600
Arsenopyrit	1.000
Augit	100
Chalkanthit	100
Chalkopyrit	bis 2.000
Chloanthit	bis 63.000
Josephinit	bis 14.000
Löllingit	bis 60.000
monokline Pyroxene	100
Nickelin	1.000
Olivin	100
Pentlandit	bis 25.000
Pyrit	> 25.000
Pyrrhotin	bis 8.500
Rammelsbergit	bis 26.000
Sphalerit	bis 3.000

Technogene Herkunft

Die mengenmäßig größten Anwendungsbereiche betreffen Batterien und Superlegierungen (insbesondere in der Luftfahrtindustrie). Weitere Verwendung findet Cobalt in Dauermagnetwerkstoffen, Farbstoffen (z.B. in Gläsern), Katalysatoren (für Entschwefelung der Kohle), zur Härtung von Kunststoffen und in der Medizin (Cobalt-Isotop Co-60 für Krebsbehandlung). Eintrag in die Umwelt bei Verhüttung von verschiedenen Metallen (Ni, Ag, Pb, Cu). Aufgrund der geringeren Produktionsrate ist die technogene Umweltdispersion eher gering, eventuelle technogene Verbreitung durch Hüttenschlacken, Kohlekraftwerke und Düngemittel.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Element (Zentralatom des Vitamins B12). Cobaltmetallstaub und schwerlösliche Cobaltsalze in höheren Dosen toxisch, allerdings ist in vielen Gebieten eher Co-Mangel ein Problem als toxische Konzentrationen. Es besteht aber ein metabolischer Bezug zu Eisen und Kupfer mit Tendenz zu Anämie bei Cobaltüberangebot.

Unter oxidierenden Bedingungen mittelmäßig mobil, im reduzierenden Milieu Fällung mit Sulfiden. Unter sauren pH-Bedingungen ist Cobalt um vieles mobiler als bei neutralen und basischen pH-Werten. Adsorption vor allem an Mn- und Fe-Oxiden. Co-Gehalte in Unterböden < 5 mg/kg gelten als Co-unterversorgt (Erkrankung des Weideviehs).

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

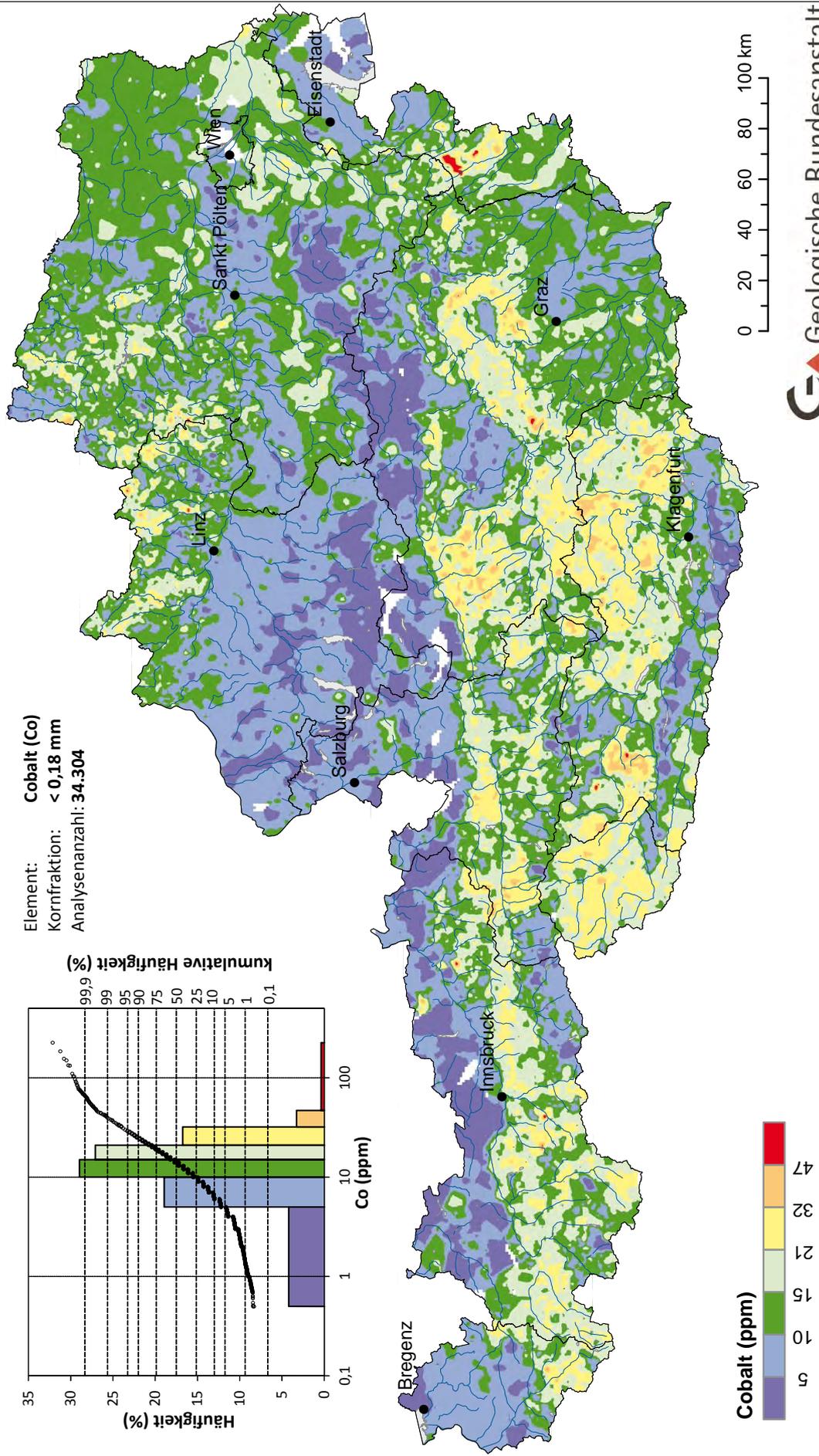
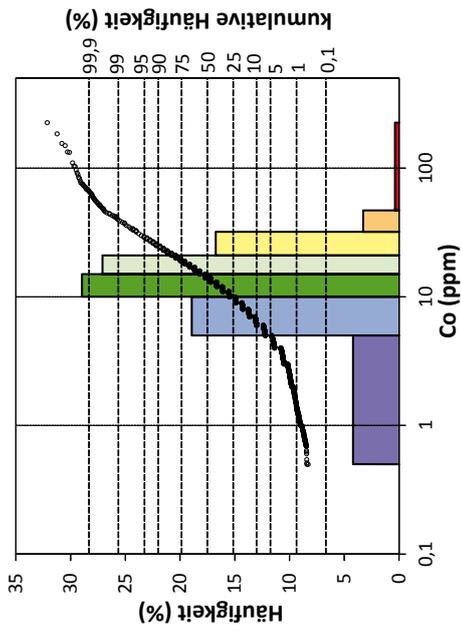


Abb. 52.
 Cobaltverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

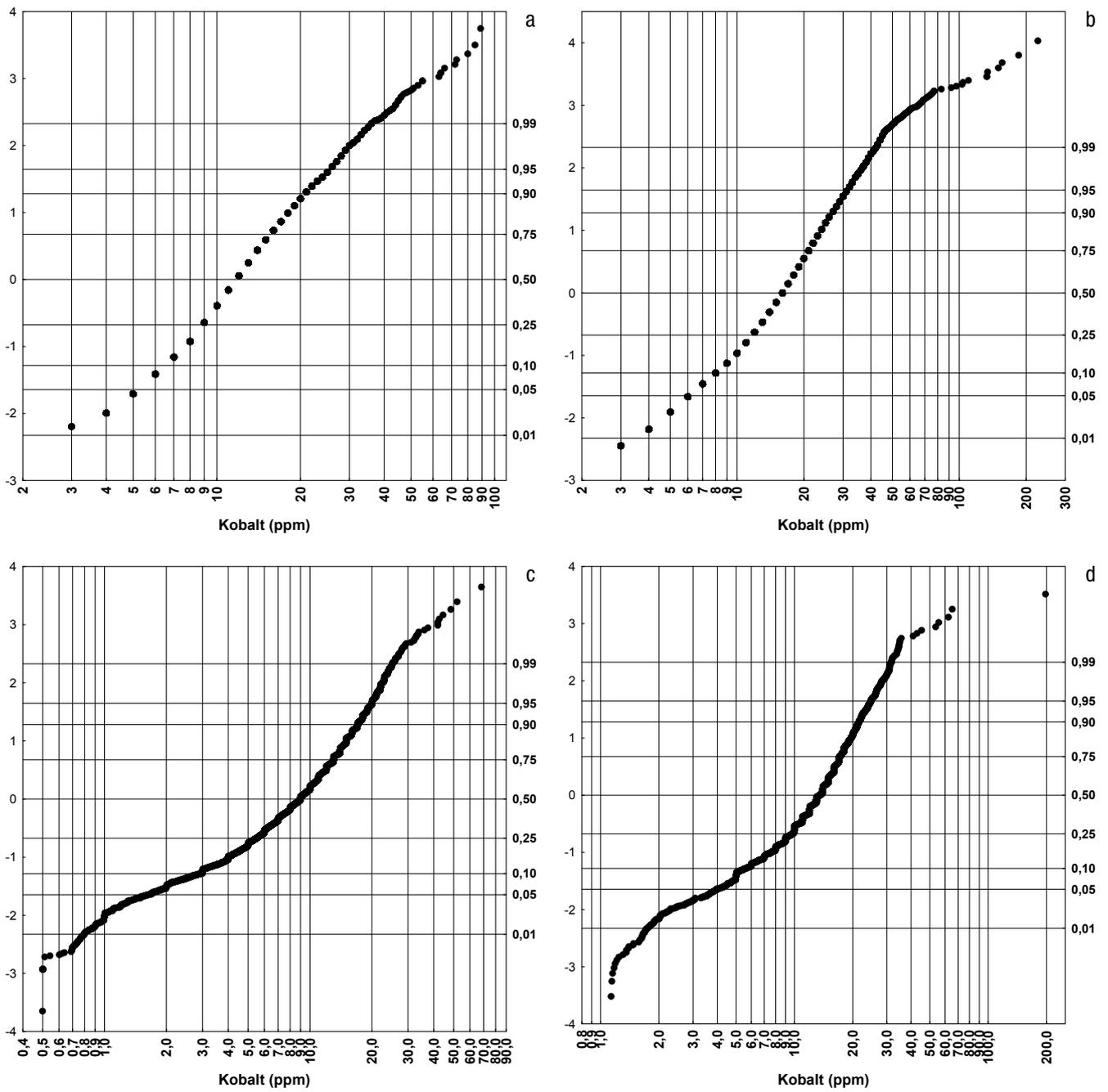


Abb. 53. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Cobalt in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

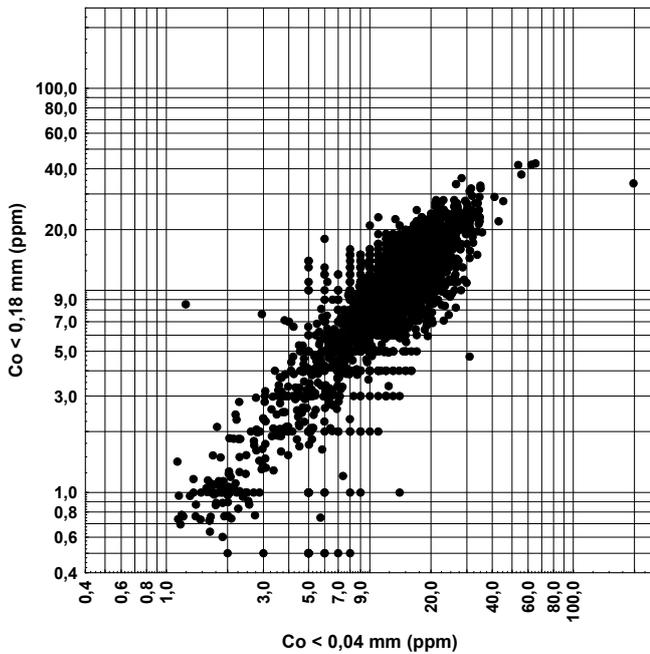


Abb. 54.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Cobalt (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Bei der Interpretation der räumlichen Verteilung von Cobalt in den Bach- und Flusssedimenten ist zu bedenken, dass für dieses Element ein sehr enger Konzentrationsbereich betrachtet wird. Die niedrigsten, nachgewiesenen Werte liegen bei 0,5 ppm, der Median ist 14 ppm und praktisch 99 % der Daten sind Werte $< 40 \text{ ppm}$. Trotzdem zeigt die räumliche Verteilung dieses Elements sehr komplexe und weitgehend interpretierbare Muster.

Dies spricht einerseits für die Qualität der Analytik, andererseits wird es an der Tatsache liegen, dass die Kon-

zentrationen von Cobalt eng mit einer meist feinverteilten Sulfidführung in den Gesteinsserien in Zusammenhang zu bringen sind. Neben der Sulfidführung sind auch bestimmte Gesteinstypen, wie Serpentine und andere basische Gesteine, Träger erhöhter Co-Konzentrationen.

Die kleinräumig wechselnden Konzentrationen zwischen 5 und 20 ppm im Bereich der Flyschzone, der Molasse und der alpinen Becken sind wahrscheinlich eher den anthropogenen Einflüssen zuzurechnen.

Cr – Chrom (Abb. 55–57)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spuren- bis Nebenelement; assoziiert mit Magnesium, Eisen, Nickel und Cobalt. Leitelement für Basite und Ultrabasite. Chrom tritt in zahlreichen Mineralen (Pyroxene, Amphibole, Glimmer, Chlorite) als Begleit- und Spurenelement auf; Chromit FeCr_2O_4 und Chromspinell sind die bedeutendsten Cr-Mineralphasen.

Häufigkeit (Cr in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	73 ⁶
ultrabasische Gesteine	1.600 ³
basische Gesteine	200 ²
intermediäre Gesteine	50 ¹
granitische Gesteine	4 ²
Tonschiefer	90 ⁵
Sandsteine	35 ³
Karbonatgesteine	11 ³
Unterböden	62 ⁴

Wichtige Chromminerale

Chromit (47 % Cr), Krokoit (16 %), Kämmererit (~ 5 %).

Chrom als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Aktinolith	100
Anatas	100
Andalusit	100
Augit	100
Brookit	100
Chrysoberyll	100
Cyanit	bis 12.000
Diaspor	bis 0,5 % Cr_2O_3
Diopsid	1.000
Korund	bis 10.000
Muskovit	bis 26.000
Olivin	1.000
Omphacit	100
Pennin	100
Pyrop	1.000
Pyroxene	100
Rutil	100
Spessartin	100
Spinell	1.000
Thuringit	100
Turmalin	bis 75.000
Wulfenit	bis 5.600

Technogene Herkunft

Verwendung in Stahl- und Speziallegierungen, für hochfeuerfeste Werkstoff, Gießereisande, als Bestandteil von Farben und Pigmenten, als Gerbstoff und für die Holzimprägnation; Gewässerbelastung hauptsächlich aus Gerbereien und Galvanikbetrieben; partikulärer Eintrag aus metallverarbeitender Industrie.

Verhalten in der Umwelt

Bisher als wenig essenzielles Bioelement eingestuft. Der menschliche Organismus braucht in geringen Mengen Chrom für die Insulinausschüttung und für den Protein- und Kohlehydratstoffwechsel. Cr^{6+} , welches natürlich kaum auftritt, weist eine bedeutend höhere Toxizität auf als Cr^{3+} und gilt als kanzerogen.

Cr^{3+} gilt unter allen natürlichen Bedingungen als sehr immobil; technogen eingebrachtes Cr^{6+} ist allerdings sehr mobil abhängig von der Sorption an Fe-, Al- und Mn-Oxiden und der normalerweise raschen Reduktion zu Cr^{3+} .

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

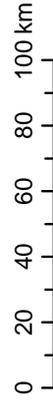
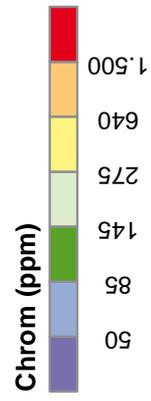
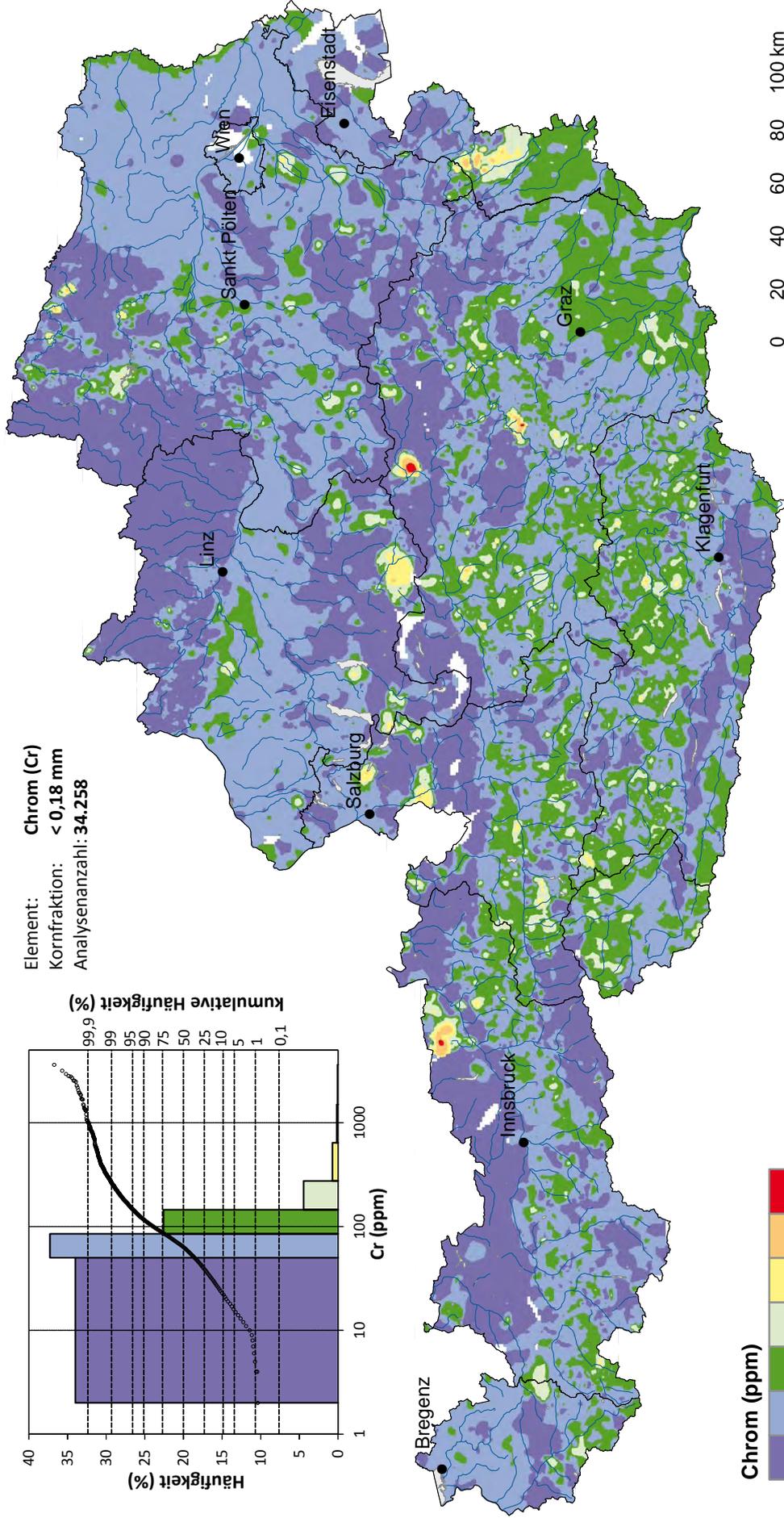
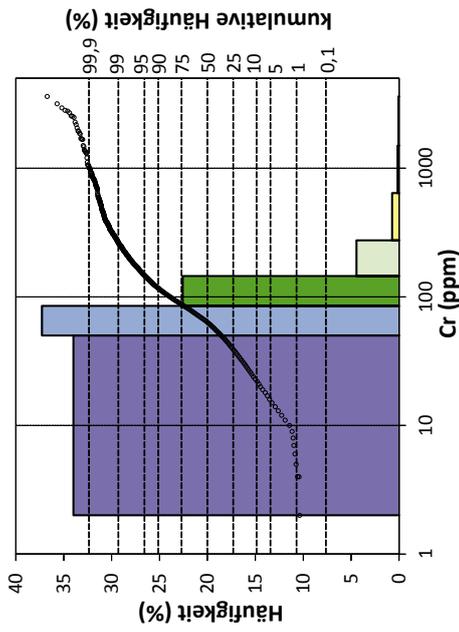


Abb. 55. Chromverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

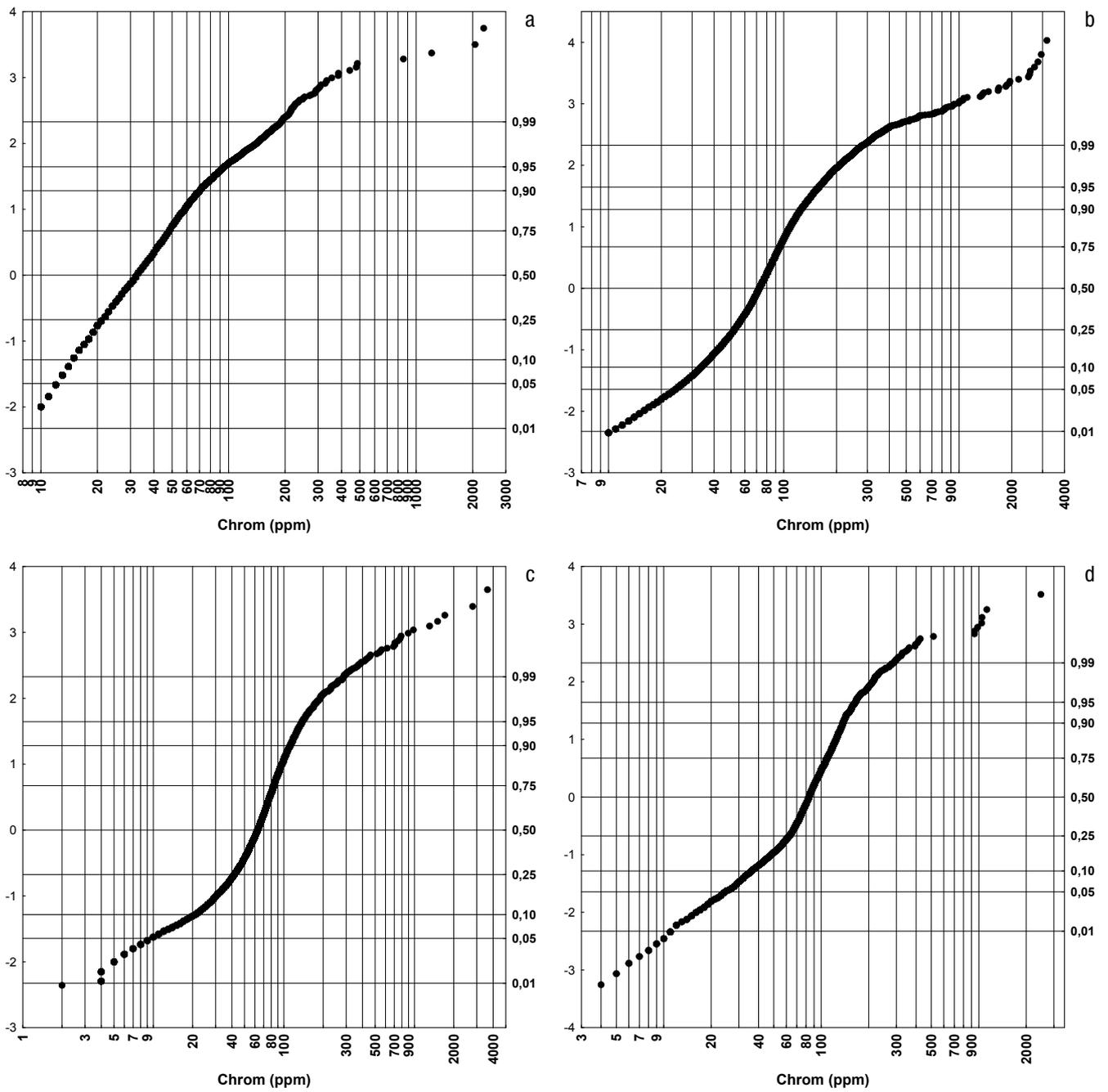


Abb. 56. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Chrom in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

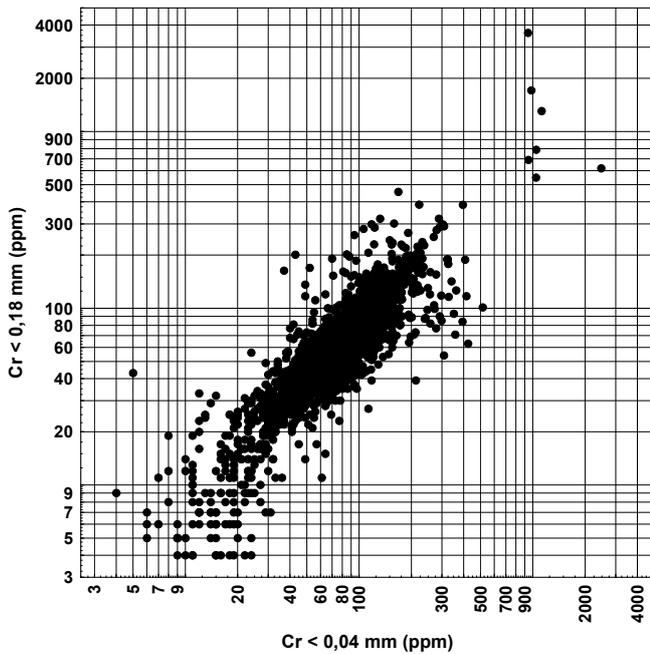


Abb. 57.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Chrom (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die räumliche Verteilung von Chrom in den Bach- und Flusssedimenten ist eng korreliert mit der Verbreitung von basischen und ultrabasischen Gesteinsserien. Besonders deutlich wird das an den eher kleinräumigen Vorkommen von Serpentiniten, die durch sehr hohe Cr-Konzentrationen markiert werden (Rechnitz/Burgenland, Preg-Kraubath, westlich Trieben oder nördlich Heiligenblut). Basische Gesteinsserien wirken sich durch größer flächige, relativ ein-

heitliche Cr-Konzentrationsverteilungen zwischen ca. 100 und 250 ppm aus.

Auffällig sind lokale Bereiche mit sehr hohen Cr-Konzentrationen (> 600 ppm) in den Nördlichen Kalkalpen. Diese kleinräumigen „Anomalien“ sind mit Vorkommen von Kreidesedimenten (Gosau-Formation) verknüpft. Der entsprechende Cr-Gehalt ist auf die Chromitführung in diesen Sedimentserien zurückzuführen. Wahrscheinlich erfolgt noch eine zusätzliche lokale Anreicherung durch die Transportprozesse in den Bächen.

Cu – Kupfer (Abb. 58–60)

Geogene Herkunft

Chalkophiles Spurenelement, eng assoziiert mit Vanadium, Eisen, Nickel, Cobalt, aber auch Arsen; Höchstgehalte in basischen und intermediären Gesteinstypen; Kupfer kommt vorwiegend in den Sulfidmineralen Chalkopyrit (Kupferkies) CuFeS_2 , Bornit Cu_5FeS_4 , Malachit $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ bzw. in Fahlerzen vor. Spuren- und Nebenelement in anderen Sulfiden, aber auch in Fe-Mg-Silikatmineralen.

Häufigkeit (Cu in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	27 ⁶
ultrabasische Gesteine	40 ⁴
basische Gesteine	100 ²
intermediäre Gesteine	35 ¹
granitische Gesteine	10 ²
syenitische Gesteine	5 ²
Tonschiefer	39 ⁵
Sandsteine	10 ²
Karbonatgesteine	4 ³
Unterböden	14 ⁴

Wichtige Kupferminerale

Gediegenes Kupfer, Cuprit (88,8 % Cu), Tenorit (79,8 %), Chalkopyrit (bis 34,5 %), Bornit (bis 69 %), Cubanit (bis 23 %), Chalcosit (79,8 %), Covellin (bis 66,5 %), Enargit (bis 48,6 %), Fahlerz (22–53 %), Malachit (bis 72 %), Azurit (bis 55 %), Atakamit (bis 49,5 %), Brochantit (bis 56 %), Chalkantit (bis 25 %).

Kupfer als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Boulangerit	1.000
Carnotit	1.000
Cobaltin	100
Galenit	bis 3.000
Josephinit	bis 12.000
Linneit	1.000
Magnetit	100
Miargyrit	bis 10.000
Millerit	bis 10.000
Pentlandit	bis 17.000
Platin	1.000
Pyrargyrit	100
Pyromorphit	1.000
Pyrrhotin	bis 7.000
Rammelsbergit	100
Silber (gediegen)	1.000
Skutterudit	100
Smaltin	100
Sphalerit	bis 50.000

Technogene Herkunft

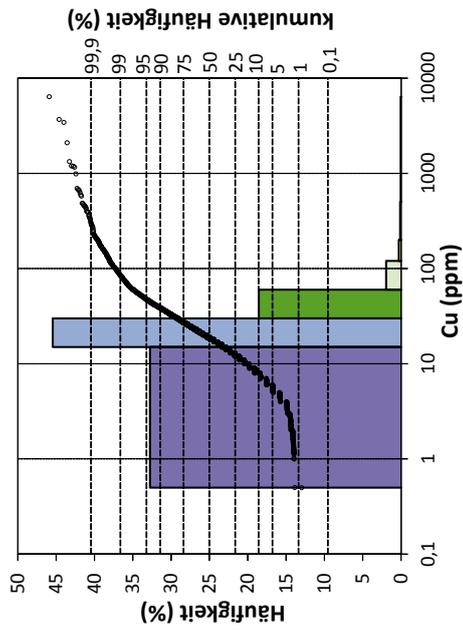
Verwendung als Metall in Legierungen (Bronze, Messing, Tombak, Gelbguss, Weißguss, Neusilber) und in der Elektrotechnik, Leitungsrohre, in Pigmenten, medizinischen Präparaten, Fungiziden, galvanischen Oberflächenbeschichtungen. Eintrag in die Umwelt vor allem bei der Metallgewinnung und -verhüttung, in der Landwirtschaft bei Einsatz als Pflanzenschutzmittel und Ausbringung von Schweinegülle (Kupfer beschleunigt das Wachstum bei Schweinen).

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement für Pflanzen und Tiere; in hohen Dosen toxisch. Menschen und höhere Wirbeltiere sind relativ unempfindlich auf hohe Cu-Konzentrationen, Mikroorganismen hingegen sind sehr empfindlich. Wechselwirkung mit Eisen und Molybdän. Sulfidisch gebundenes Kupfer wird durch Oxidation mobilisiert. In reduzierendem Milieu Fällung als Sulfid. Unter stärker sauren Bedingungen mobil, bei neutralen bis basischen pH-Werten immobil. Sorption an organischer Substanz und Tonmineralen. Im Bachsediment überwiegt Bindung an Feinfraktion und organischer Substanz. Mangelerscheinungen bei Pflanzen treten bei Cu-Gehalten in Unterböden von < 5 mg/kg auf.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: **Kupfer (Cu)**
 Kornfraktion: **< 0,18 mm**
 Analysenanzahl: **34.341**

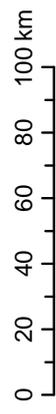
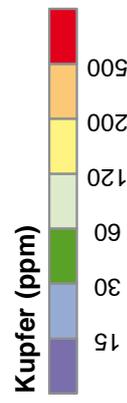
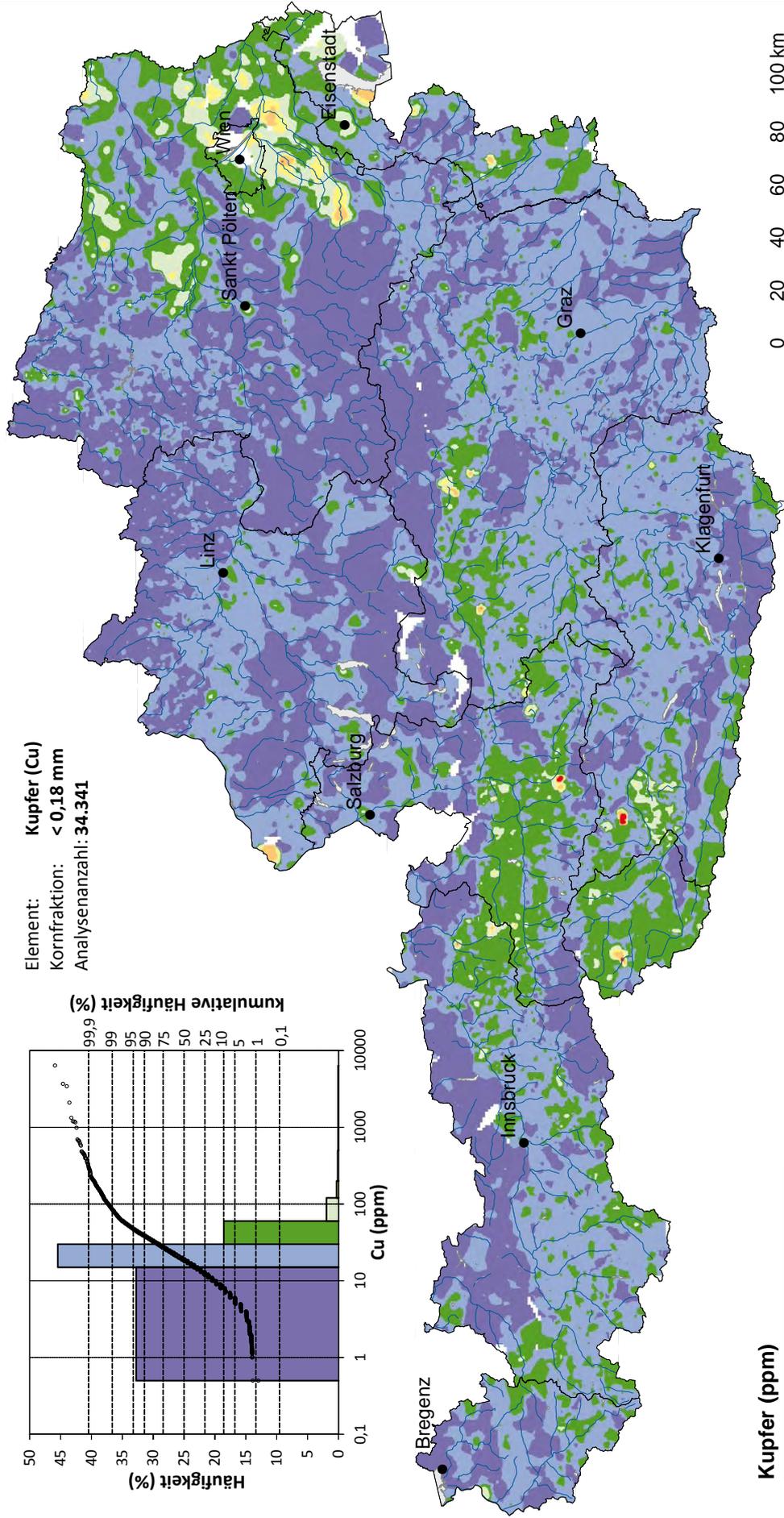


Abb. 58. Kupferverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

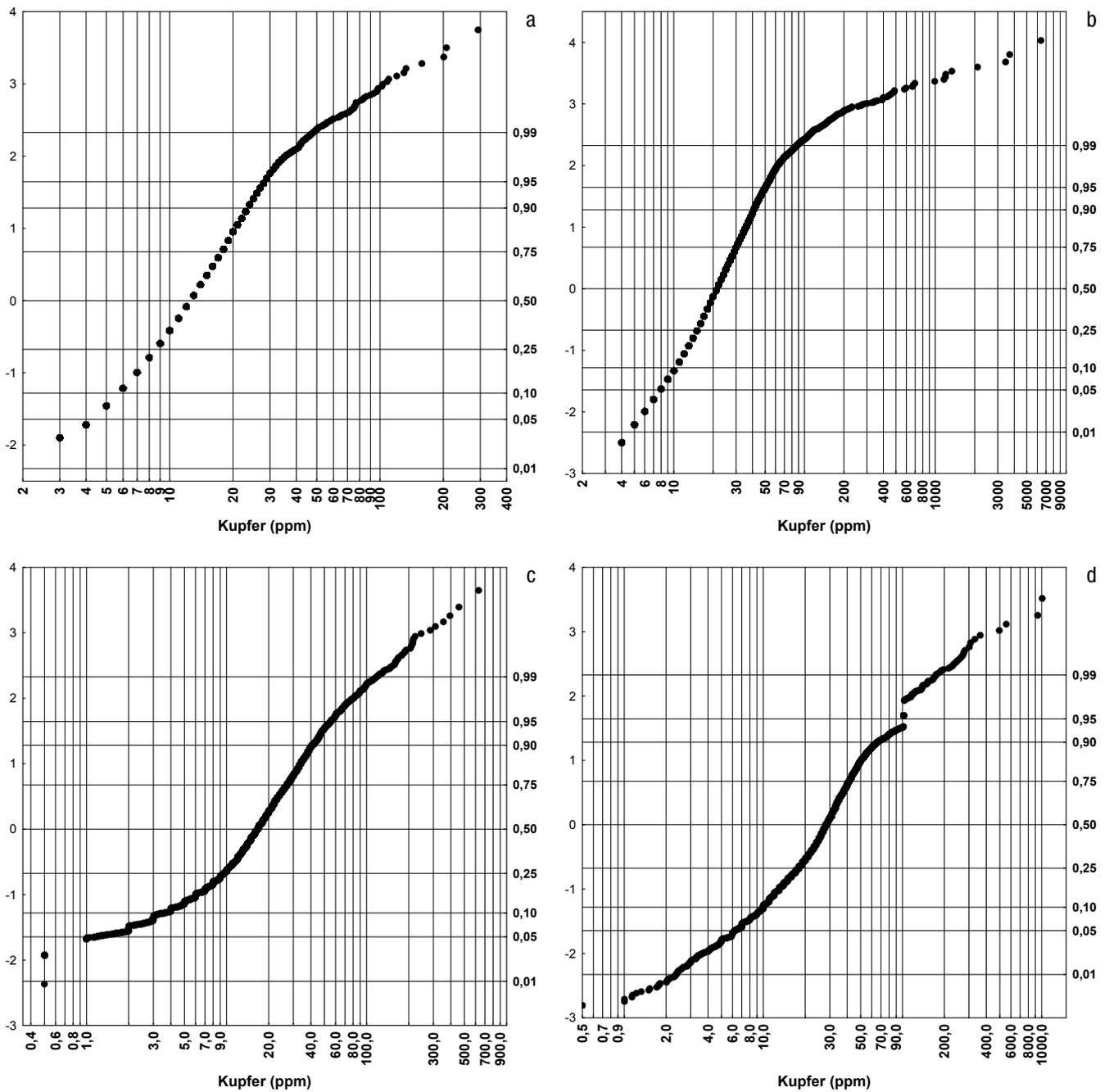


Abb. 59. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Kupfer in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

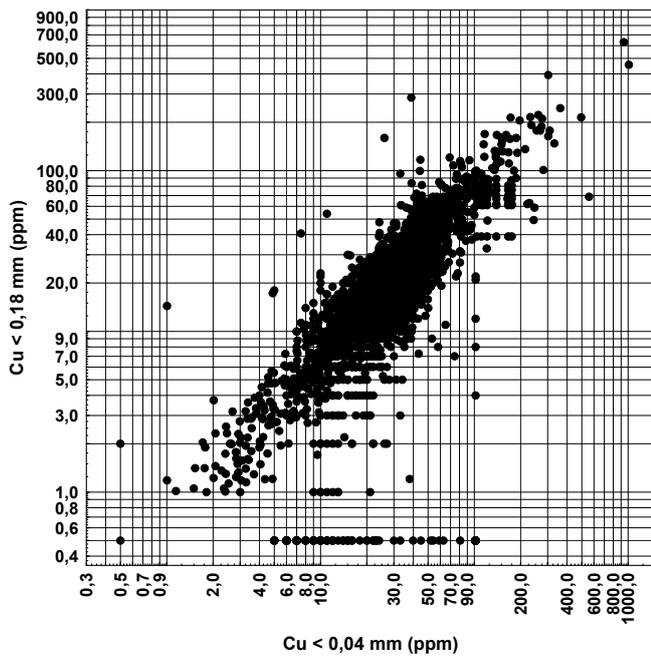


Abb. 60.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Kupfer (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die räumliche Verteilung der Cu-Konzentrationen in den Bach- und Flusssedimenten dürften hauptsächlich drei Ursachen haben:

- a. Kleinregional bis regional etwas höhere Grundgehalte (etwa 30 bis 120 ppm) in basischen und ultrabasischen Gesteinsserien.
- b. Lokale, kleinräumige „Anomalien“ höherer Konzentrationen (> und >> 120 ppm) in direktem Konnex mit Chalkopyrit- oder Polysulfidvererzungen (z.B. Walchen, Großarl, Kleinfragant, Blindis, Jochberg/Kupferplatte, Röhrerbühel u.a.).

- c. Vereinzelt Probepunkte mit Cu-Konzentrationen > 120 ppm im Weinviertel und südlichen Wiener Becken – möglicherweise im Zusammenhang mit dem Weinbau zu sehen; in jedem Fall aber anthropogen bedingt.

Es fällt auf, dass zahlreiche Cu-Mineralisationen oder Altbergbauareale mit Zielrohstoff Kupfer durch die Bachsedimentgeochemie nicht oder eher undeutlich nachgewiesen werden. Wie Detailuntersuchungen dazu belegen, führt die hohe Mobilität von Kupfer in den natürlichen Systemen dazu, dass Lösungsvorgänge gegenüber Transportvorgängen im Sediment überwiegen.

F – Fluor (Abb. 61–63)

Geogene Herkunft

Aufgrund der hohen Reaktionsfreudigkeit kommt Fluor in der Natur nicht elementar vor, sondern in Form seiner Verbindungen in Fluorit CaF_2 , als Neben- und Spurenelement in Fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, Topas $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{FOH})_2$, Apatit, Glimmern, Turmalin und Amphibolen. Fluorit ist häufig ein Begleiter von Erzmineralen in Gängen.

Häufigkeit (F in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	557 ⁶
ultrabasische Gesteine	100 ³
basische Gesteine	400 ²
intermediäre Gesteine	500 ¹
granitische Gesteine	850 ²
Tonschiefer	740 ⁵
Sandsteine	270 ³
Karbonatgesteine	330 ³

Wichtige Fluorminerale

Kryolit (54 % F), Fluorit (49 %), Topas (9 %), Amblygonit (6 %), Apatit (4 %).

Fluor als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Almandin	100
Amphibole	1.000
Ascharit	1.000
Axinit	100
Biotit	X.000 *
Glaukophan	1.000
Muskovit	bis 40.000
Pargasit	bis 19.000
Phlogopit	bis 60.000
Turmalin	bis 10.000
Vesuvian	bis 40.000

* X.000 – Wert liegt im 1.000er Bereich

Technogene Herkunft

Verwendung in der Uranproduktion (Trennung von Isotopen für Kernbrennstoffe, im Brennstoffkreislauf), als Flussmittel (Stahl- und Aluminiumherzeugung), in Kunststoffen (z.B. Teflon, Hostaflon), zur Herstellung von FCKW (Kältemittel und Treibgase) in Raketentreibstoffen und Schädlingsbekämpfungsmitteln.

Verbreitung in der Umwelt durch industrielle Emissionen aus der Aluminium-, Email-, Keramik-, Zement- und Ziegelindustrie, aus Kraftwerken (besonders bei Braunkohlefeuerung) und Müllverbrennungsanlagen sowie durch den Einsatz von FCKW, möglicherweise auch durch Düngemittel. Durch Verwitterung oder Gewinnung bestimmter mineralischer Komponenten (z.B. Aluminium- oder Rohphosphatgewinnung) werden fluoridhaltige Verbindungen an die Umwelt abgegeben.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement. In höheren Dosen und in einigen Verbindungen hoch toxisch. Mobilität von Fluor ist im Allgemeinen als hoch einzustufen. Sorption an Al-Oxide; Fällung mit Ca (CaF_2).

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

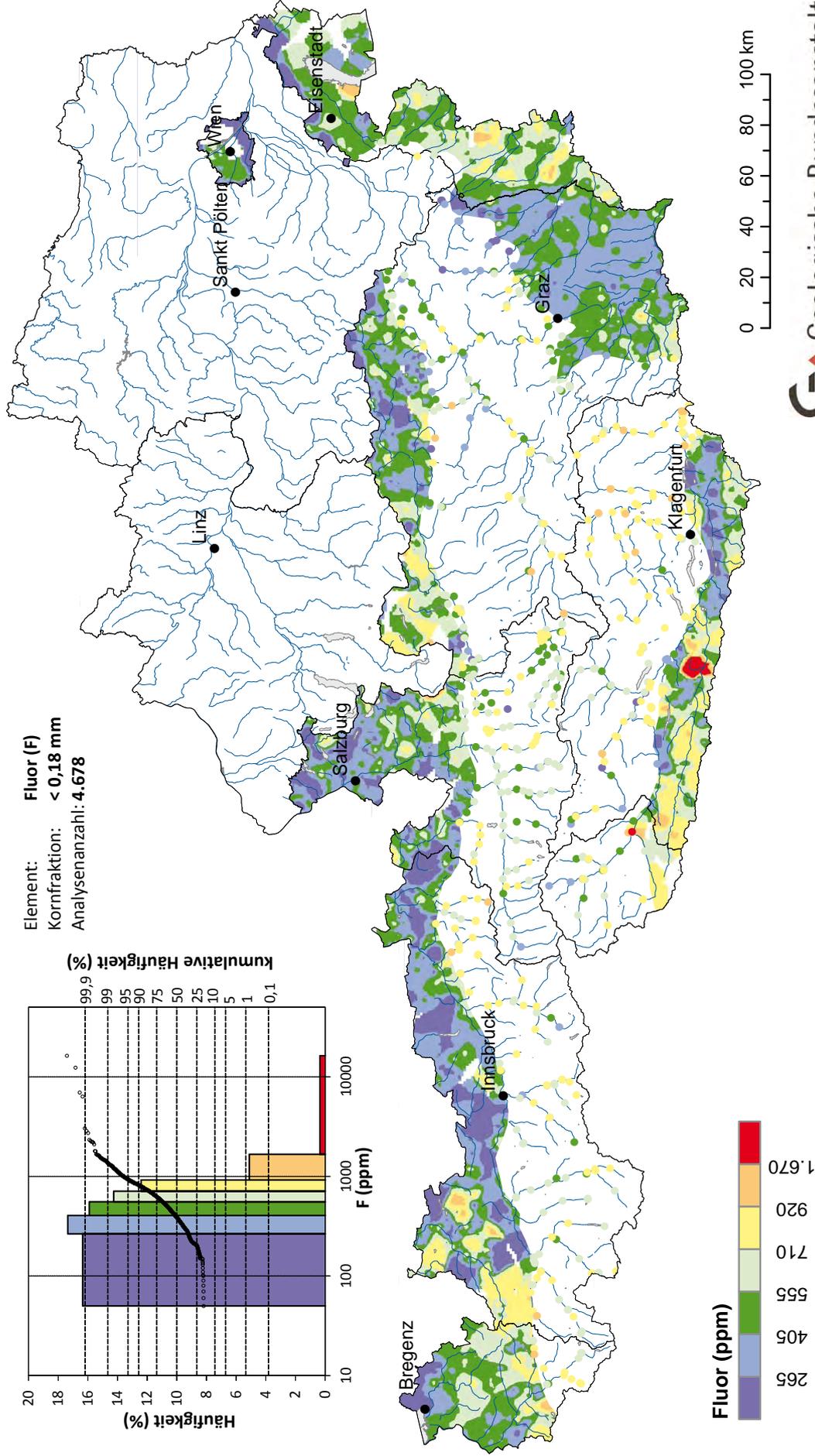
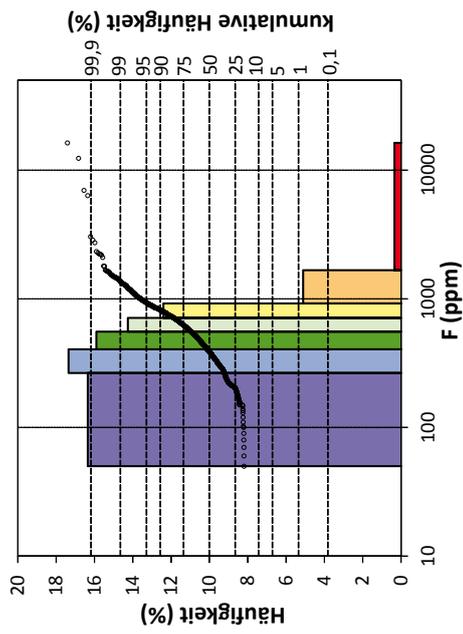


Abb. 61. Fluorverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

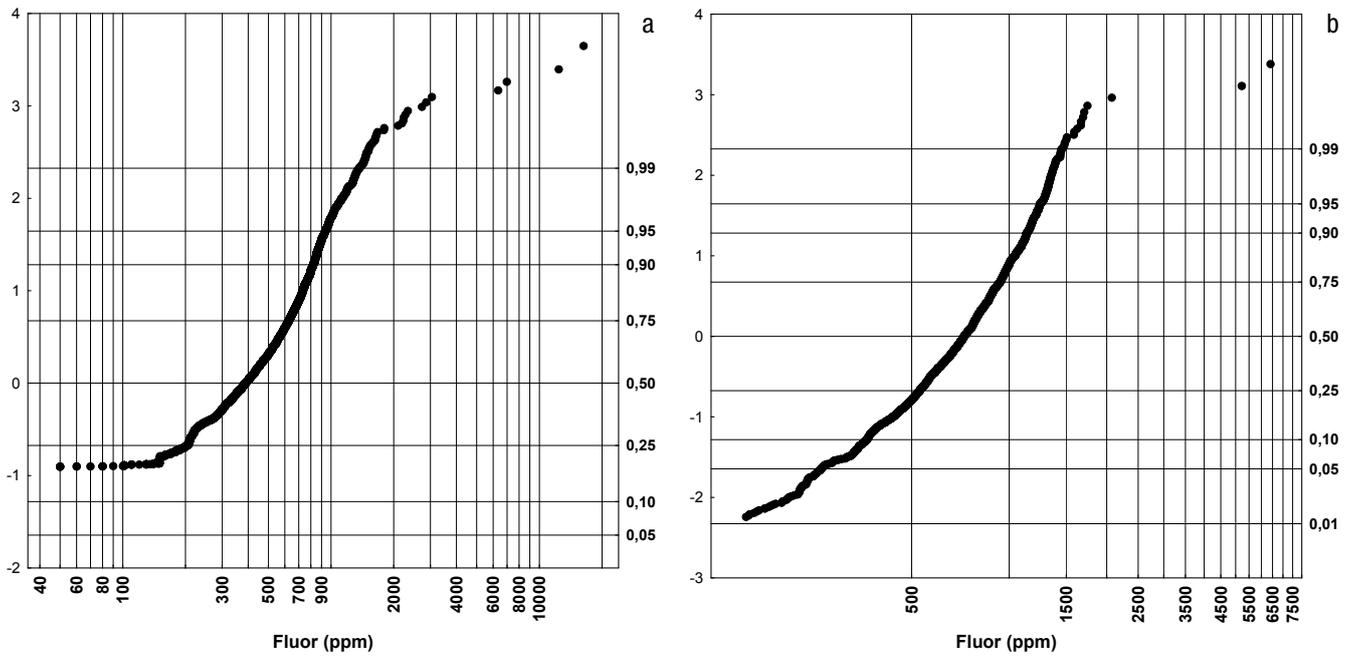


Abb. 62.
 Kumulative Häufigkeitsverteilung für Fluor in ppm; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) bzw. < 0,04 mm (b).

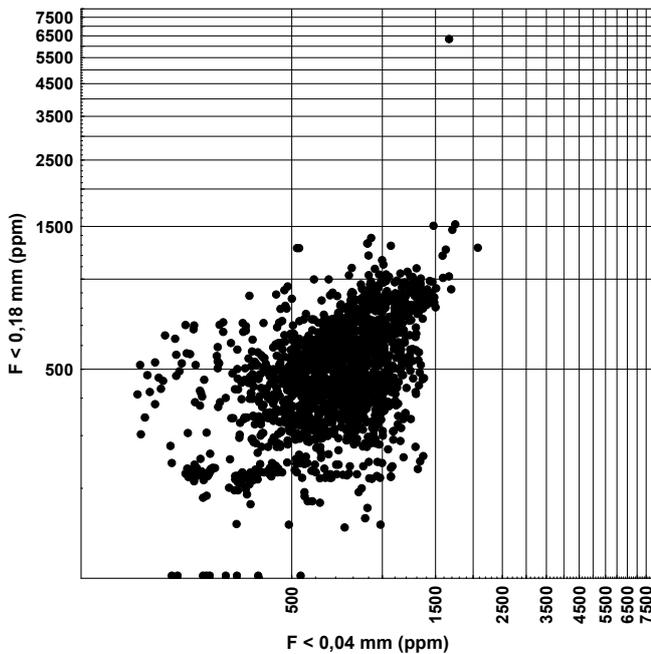


Abb. 63.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Fluor (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Geochemisch steht das Element Fluor eher als Parameter in Wässern im Vordergrund von Forschung und systematischer Analytik. Über Gehalte und Verteilung in Bachsedimenten lagen bis vor kurzem keine Daten vor. Geogen kommen für Fluor mehrere Quellen in Frage:

- Fluor kann im Gitter von gesteinsbildenden Silikaten – wie Glimmer oder Amphibole – eingebaut sein. Das kann zu höheren Grundgehalten in bestimmten Kristallinserien führen.
- Flussspat ist häufiges Nebenmineral oder Gangart bei (poly-)sulfidischen Vererzungen. Entsprechend hohe Konzentrationen finden sich z.B. im Umfeld der Blei-Zink-Lagerstätten im Drauzug. Der Probepunkt mit der höchsten gemessenen Konzentration ist direkt unterhalb der ehemaligen Aufbereitung im Bergbauareal Bleiberg-Kreuth situiert.

- Höhere Fluorgehalte in Apatit und ähnlichen Phosphormineralen.

Der letzte Punkt könnte auch der Grund sein, dass Phosphordünger meist auch höhere Fluorgehalte besitzen. Höhere Hintergrundgehalte von Fluor in Tal- und Beckenlagen mit Intensivlandwirtschaft könnten darauf zurückzuführen sein.

Zusammenfassend ist aber festzuhalten, dass über die jeweiligen tatsächlichen Quellen von Fluor in den meisten Fällen noch zu wenig Fachinformation vorliegt.

Wie der Vergleich der Konzentrationen in den beiden Kornfraktionen zeigt, wird Fluor in der Fraktion < 0,04 mm angereichert.

Fe – Eisen (Abb. 64–66)

Geogene Herkunft

Gesteinsbildendes Hauptelement, vierthäufigstes in der Erdkruste, dritthäufigstes im Erdmantel. Geogene Anreicherung durch liquidmagmatische, hydrothermale bis sedimentäre Lagerstättenbildungen.

Vorkommen in Oxiden (z.B. Magnetit Fe_3O_4 , Hämatit Fe_2O_3), Verwitterungsprodukten von Fe-führenden Mineralen (Fe-Hydroxide, wie Goethit/Limonit $\text{FeO}(\text{OH})$), Karbonaten (Siderit FeCO_3), Sulfiden (Pyrit, Markasit FeS_2 , Pyrrhotin Fe_{1-x}S) sowie in Fe-führenden Silikaten (Biotit, Olivin, Pyroxene, Amphibole, Glimmer).

Häufigkeit (Fe in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	5,2 ⁶
ultrabasische Gesteine	9,4 ³
basische Gesteine	8,6 ²
intermediäre Gesteine	5,8 ¹
granitische Gesteine	2,7 ²
Tonschiefer	4,7 ⁵
Sandsteine	1,0 ³
Karbonatgesteine	0,4 ³
Unterböden	2,6 ⁴

Wichtige Eisenminerale

Magnetit (71,4 % Fe), Hämatit (70 %), Goethit (60–63 %), Siderit (48 %), Chamosit (33 %), Thuringit (29–31 %), Markasit (47 %), Pyrit (47 %), Ilmenit (37 %), Pyrrhotin (64 %), Limonit (60 %).

Eisen als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Beryll	bis 12 %
Boehmit	bis 50.000
Bourmonit	bis 50.000
Braunit	bis 10 %
Calcit	bis 13 % FeO
Chloritoid	bis 24.000
Chrysokoll	bis 50.000
Cobaltin	bis 8 %
Dolomit	bis 44.000
Illit	bis 23.000
Magnesit	bis 5,4 %
Millerit	bis 20.000
Nickelin	bis 27.000
Perowskit	bis 6,9 %
Phlogopit	bis 9 %
Rhodonit	bis 12 %
Rutil	bis 8 %
Sapphirin	bis 7 %
Skutterudit	bis 5,8 %
Smaltin	bis 7,3 %
Sphalerit	bis 20 %
Thorit	bis 50.000
Titanit	bis 46.000
Turmalin	bis 7 %
Vesuvian	bis 6,2 %
Wollastonit	bis 7 %

Technogene Herkunft

Technisch häufig genutztes Metall. Vorwiegende Verwendung als Stahl, in Stahllegierungen, als Gießereieisen, in Ferriten und im Strahlenschutz (Fe-59 als Radioindikator). Umweltdispersion vor allem durch Metallverhüttung und -verarbeitung (Eisenabfälle, Rost, Pigmente, Flugstaub), durch Verbrennungsprozesse (Flugasche der Kohleverbrennung), aber auch durch Düngemittel und Herbizide (in Form von Fe-Sulfaten).

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement für alle Organismen. Eisenmangel meist größeres Problem für Organismen als Toxizität durch hohe Konzentrationen; Interferenzen bei der wichtigen Fe-Absorption im menschlichen Organismus werden durch hohe Gehalte an Cobalt, Zink, Kupfer und Mangan verursacht. Unter oxidierenden Bedingungen weitgehend immobil. Mobilisierung bei Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+} . Bei saurem pH-Wert mobiler als unter neutralen und basischen Bedingungen. Eisenhydroxide sorbieren Anionkomplexe (As, Sb, P, Se u.a.). Mitfällung weiterer Metalle mit Fe-Oxiden und Fe-Hydroxiden.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

Element: Eisen (Fe)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.304

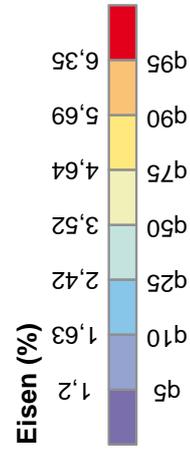
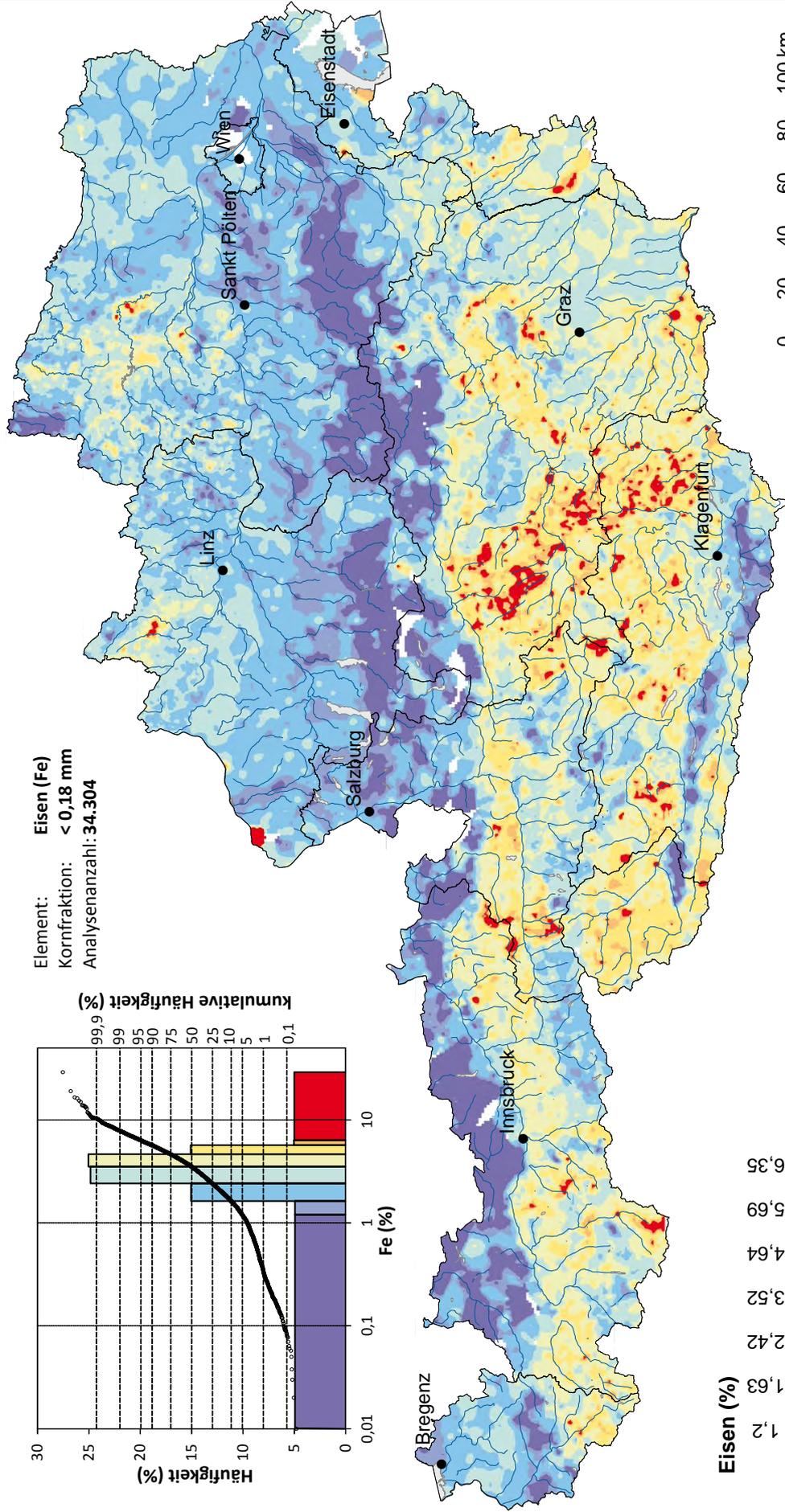
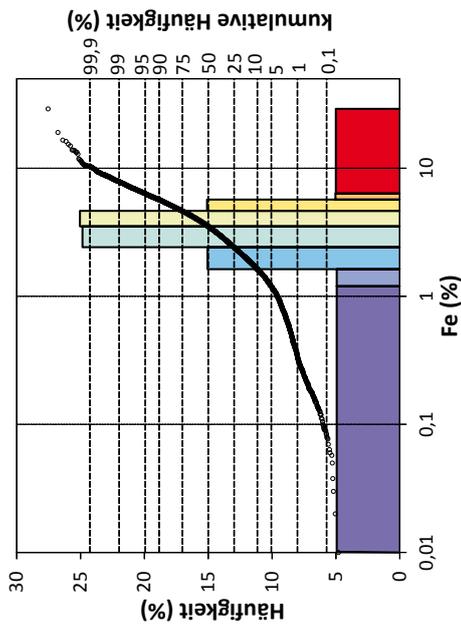


Abb. 64. Eisenverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

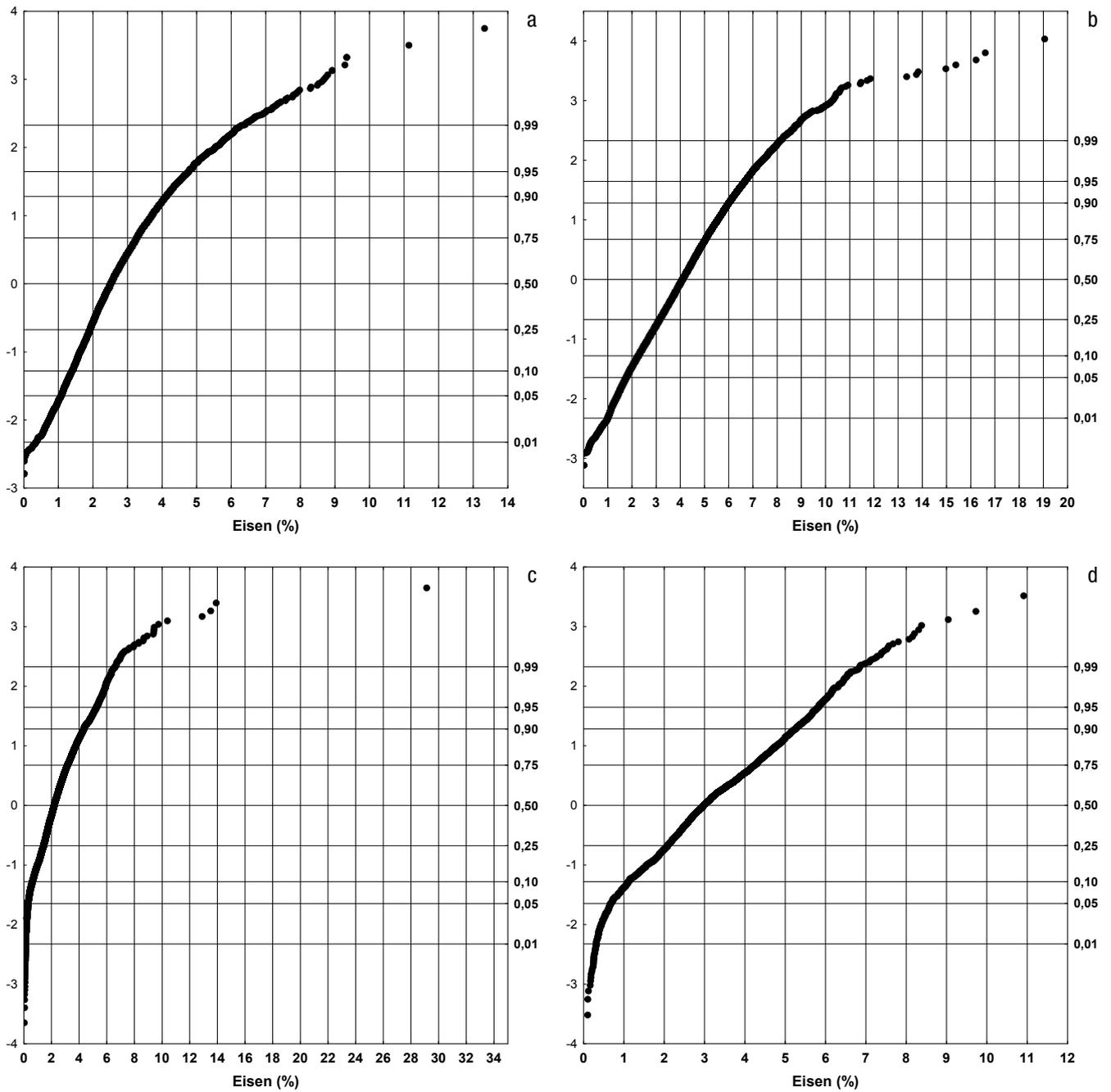


Abb. 65. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Eisen in %; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

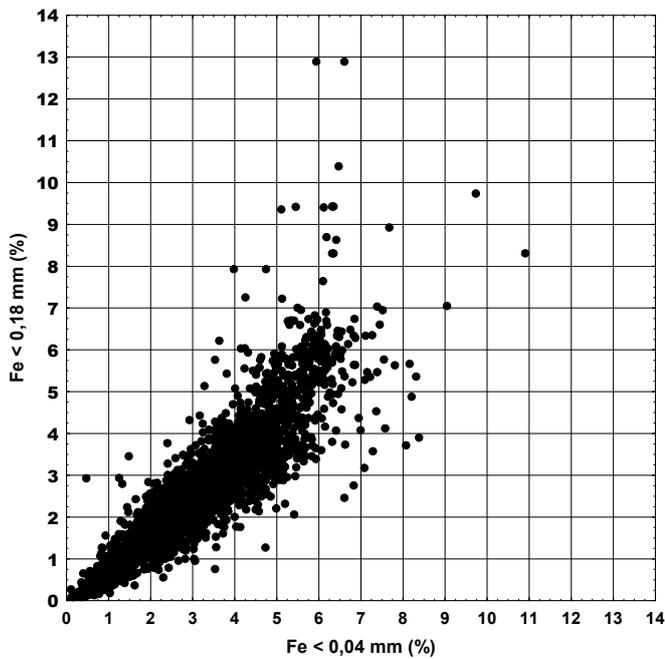


Abb. 66.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Eisen (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Obwohl die menschliche Nutzung von Eisen in unserer Zivilisation so weit verbreitet ist, dürfte die räumliche Fe-Verteilung in den Bach- und Flusssedimenten praktisch nur die geologisch-geochemische Situation wiedergeben. Dies liegt an der weiten Verbreitung von Eisen in Fe-führenden Silikaten, Sulfiden (Pyrit, Markasit) und in der Form von Oxiden. Die Verwitterung dieser Minerale führt dann in weiterer Folge zu den entsprechenden Fe-Gehalten in den

Böden (Eisenhydroxide). Der Fe-Gehalt in den Bachsedimenten resultiert dann aus den Fe-führenden Mineralen und den über die Erosion eingebrachten Verwitterungsprodukten. In der Flächenverteilung werden durch hohe Fe-Konzentrationen in den Sedimenten die Vorkommen von basischen Gesteinen und Fe-reichen Paragneisen und Glimmerschiefern besonders hervorgehoben. Die großen Vorkommen von Fe-Karbonaten (z.B. Steirischer Erzberg oder Hüttenberg) gehen in den großflächigen Verteilungsmustern unter.

Ga – Gallium (Abb. 67–69)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement, getarnt durch Aluminium (Al/Ga 500–10.000); Anreicherung in Alkalimagmen, Differentiaten und fluiden Phasen; chalkophile Eigenschaften in mittel- bis niedrigthermalen Lösungen; vor allem gebunden an Aluminiumsilikate (z.B. Feldspäte, Amphibole, Glimmer); wirtschaftliche Gewinnung derzeit nur aus Fe-Hydroxiden und als Nebengemengteil in Bauxit und Sphalerit. Assoziiert mit Aluminium, Zink und vielen Schwermineralen.

Häufigkeit (Ga in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	19 ⁶
ultrabasische Gesteine	1,5 ³
basische Gesteine	12 ²
intermediäre Gesteine	20 ²
granitische Gesteine	18 ²
Tonschiefer	19 ⁵
Sandstein	12 ³
Karbonatgesteine	4 ³
Unterböden	14 ⁴

Wichtige Galliumminerale

Gallit, Germanit (0,7–2 % Ga), Sphalerit (0,02–0,3 %), Bauxite (25–1.000 ppm).

Gallium wird auch aus Aschen, Flugstaub, Schlämmen und Laugen gewonnen.

Gallium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Amphibole	10
Biotit	10
Chamosit	100
Epidot	10
Feldspäte	10
Granat	X00
Ilmenit	10
Kassiterit	40
Klinochlor	100
Magnetit	10
Mikroclin	Ø 30
Muskovit	10
Plagioklase	10
Quarz	X0
Tennantit	100
Vesuvian	10
Wurzit	10
Kohleaschen	10–50

Technogene Herkunft

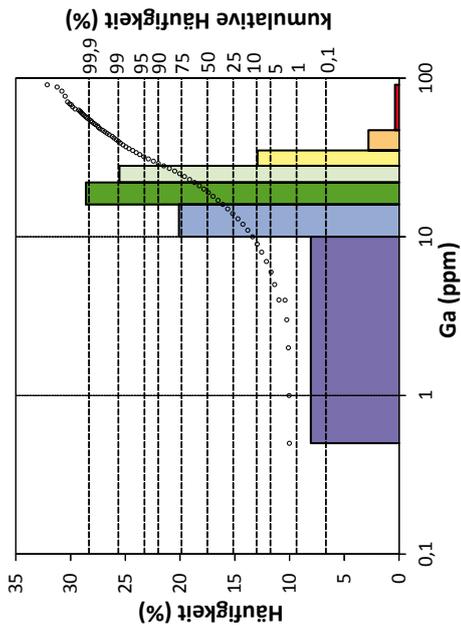
Überwiegende Verwendung in der Elektronikindustrie (integrierte Schaltungen, Ga-Halbleiter, Transistoren, Laserdioden, LED, Solarzellen), in Legierungen, als Hochtemperatur-Thermometer und im nuklearmedizinischen Bereich. Geringe Produktion vor allem als Nebenprodukt bei der Al-, Zn-Elektrolyse. Technogene Beeinflussung der Umwelt mit Gallium im Bereich der Aluminium-, Kupfer- und Zinkverhüttung am ehesten zu erwarten. Gallium tritt aber auch bei Kohlekraftwerken, Müllverbrennungsanlagen und einigen chemischen Industrieprozessen auf.

Verhalten in der Umwelt

Wie Aluminium kein bioessenzielles Spurenelement; intra-venös mäßig giftig für Säugetiere; Gallium ist wie Aluminium relativ immobil unter normalen Umweltbedingungen, da die dominante Hydroxidphase Ga(OH)₃ eine geringe Löslichkeit aufweist. Eine hohe Mobilität tritt im sauren Milieu auf. Acid-Mine Drainages von Sulfidlagerstätten weisen daher mitunter sehr hohe Ga-Konzentrationen auf.

² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Gallium (Ga)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.216

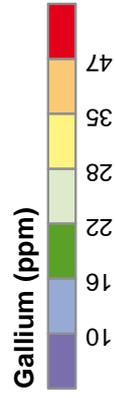
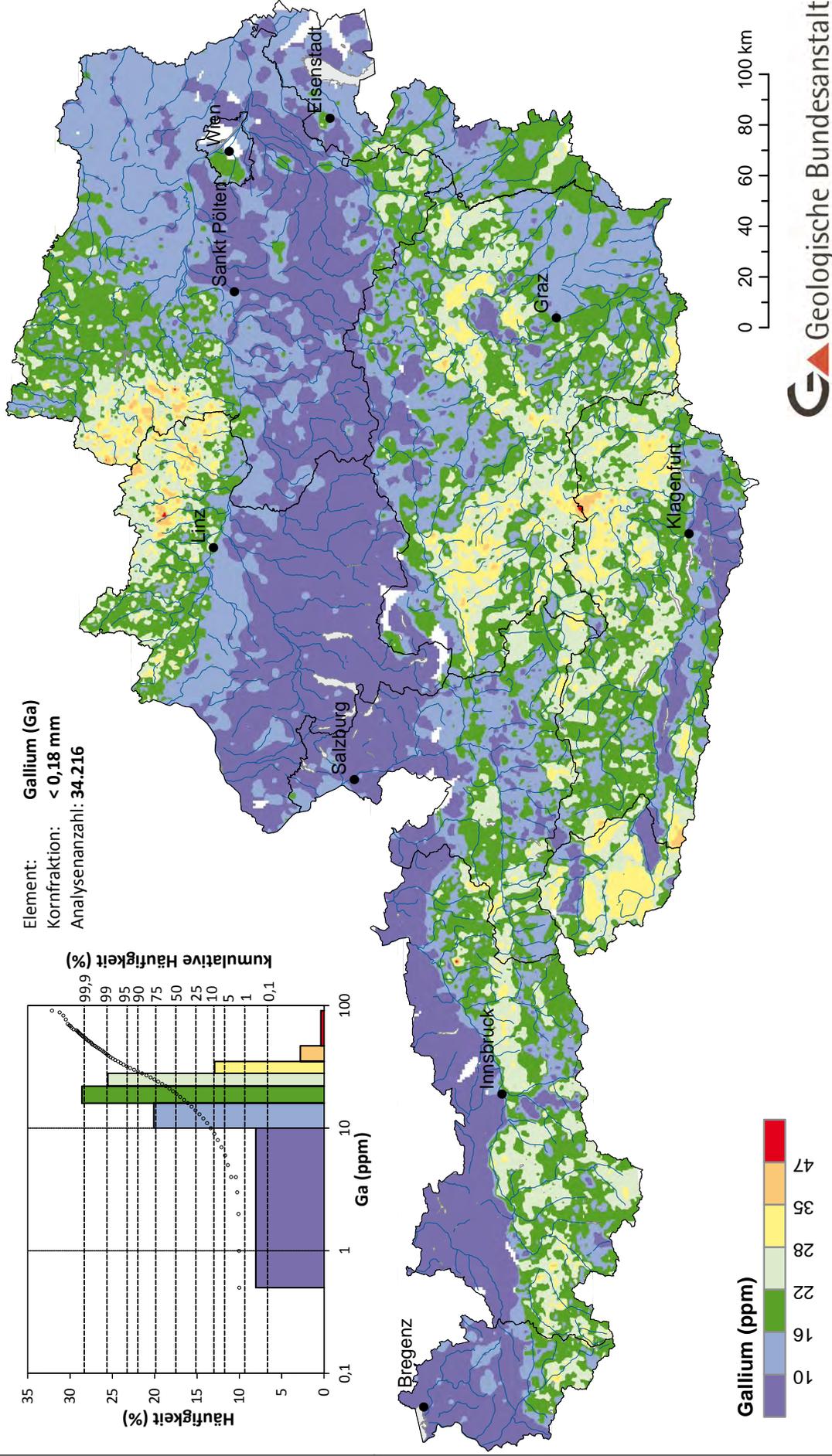


Abb. 67. Galliumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

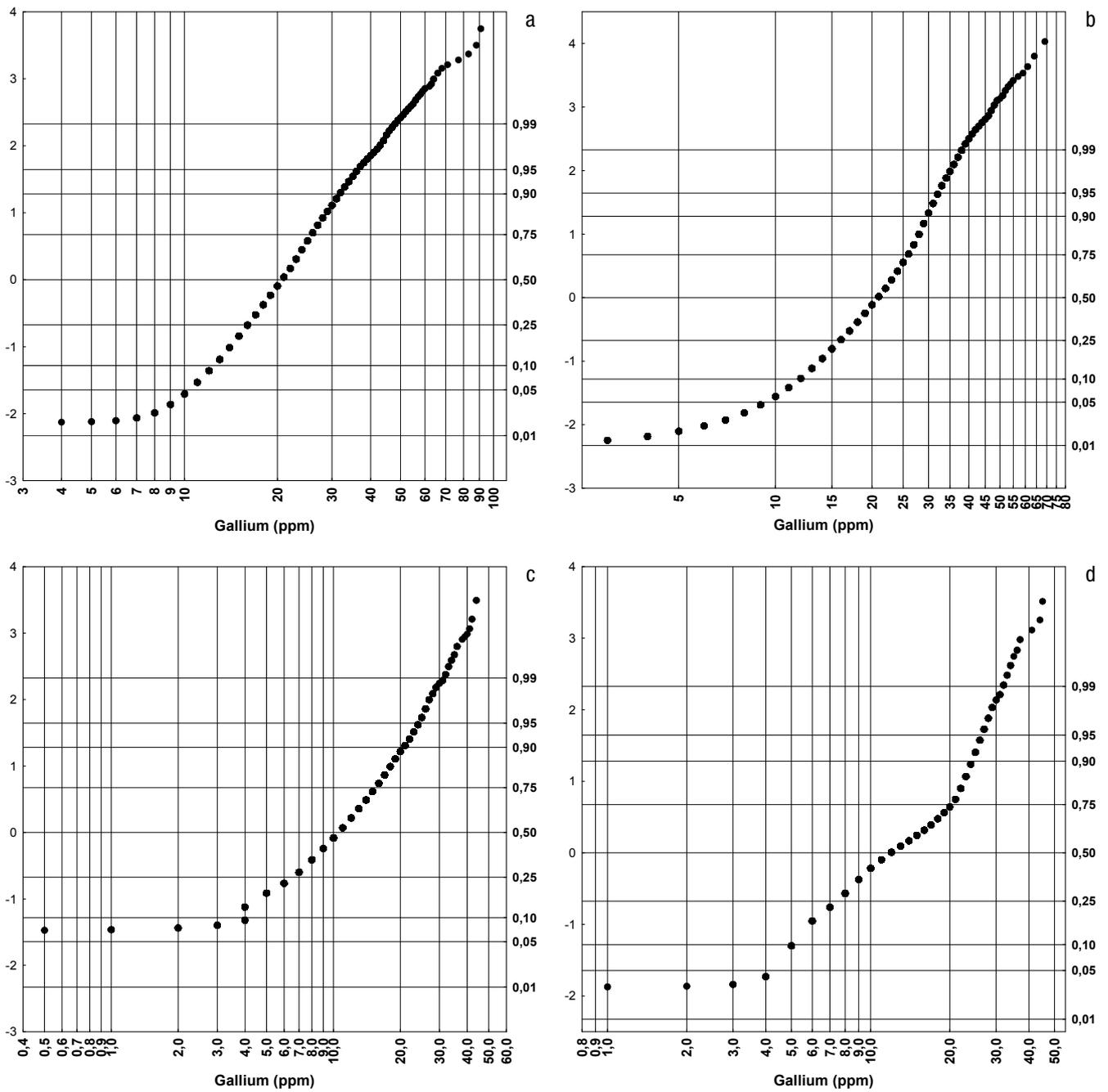


Abb. 68. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Gallium in ppm; Böhmisches Massiv (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

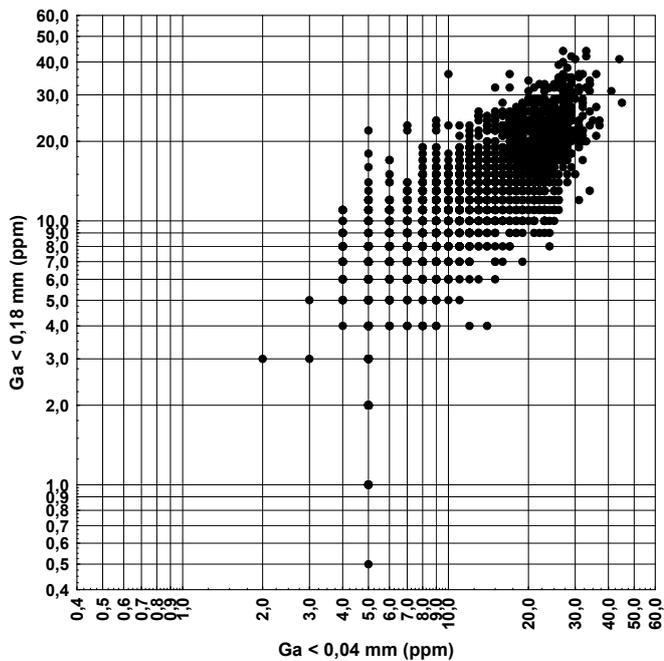


Abb. 69.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Gallium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Gallium ist in den Bach- und Flusssedimenten nur in einem engen Konzentrationsbereich anzutreffen. Die Bestimmungsgrenzen liegen (außer im Projekt Niederösterreich) bei 2 und 4 ppm; der höchste gemessene Wert in der Zentralzone ist 69 ppm, der höchste gemessene Wert im gesamten Datensatz (in der Böhmisches Masse) 91 ppm. Trotzdem ergibt die flächige Verteilung von Gallium in den Bach- und Flusssedimenten bei entsprechender Klassenwahl ein deutliches und interpretierbares Muster. Kleinregionale Gebiete höherer Konzentrationen (etwa > 30 ppm) korrelieren mit aluminiumreichen Mineralverteilungen (Feldspäte, Glimmer).

Die höchsten Konzentrationen von Gallium in der Zentralzone sind im Bereich der zahlreichen polysulfidischen Vererzungen südlich Brixlegg und Wörgl zu finden. Möglicherweise könnte hier ein Zusammenhang von Gallium mit Sphalerit zu suchen sein. Ein ähnlicher Zusammenhang wäre im Gitschtal (westlich Hermagor) zu erforschen, in dem an mehreren Probepunkten Ga-Konzentrationen > 35 ppm gefunden wurden. Im Umfeld der ausgedehnten Pb-Zn-Vererzungen im Raum Bleiberg oder in den westlichen Tiroler Kalkalpen sind keine höheren Ga-Konzentrationen zu finden.

Hg – Quecksilber (Abb. 70–72)

Geogene Herkunft

Spuren- bis Nebenelement mit chalkophilen Eigenschaften; Hauptmineral ist Cinnaberit HgS; kommt teilweise auch in Form von gediegenem Quecksilber vor; Neben- und Spurenelement in Sulfiden (insbesondere Fahlerz, Sphalerit).

Häufigkeit (Hg in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	0,05 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,01 ²
basische Gesteine	0,08 ²
intermediäre Gesteine	0,08 ²
granitische Gesteine	0,08 ²
Tonschiefer	0,20 ⁵
Sandsteine	0,03 ³
Karbonatgesteine	0,04 ³
Unterböden	0,02 ⁴

Wichtige Quecksilberminerale

Cinnaberit (86,2 % Hg), gediegen Quecksilber, Kalomel (73,9 %), Hg-Fahlerz (bis 17 %), Livingstonit (22 %), Coloradoit (61 %).

Quecksilber als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm) ^{8,9}

Baryt	10
Gold	1.000
Silber	100
Smaltin	10
Sphalerit	bis 10.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Batterien, in Legierungen (Amalgam), bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse, Goldgewinnung, Katalysatoren, Quecksilberdampfgleichrichter, Quecksilber-Kathoden, Hg-Lampen, Desinfektionsmittel, Holzschutzmittel, Zahnheilkunde, Pharmazie, ehemals als Pflanzenschutzmittel. Eintrag in die Umwelt durch Abwässer (medizinischer Bereich), Klärschlamm, Verbrennungsprozessen in kalorischen Kraftwerken, Bergbau und Verhüttung.

Verhalten in der Umwelt

Biologisch verfügbares, hoch toxisches Element; kein essenzielles Spurenelement. Hoch toxisch sind vor allem organische Hg-Verbindungen; unter oxidierenden Bedingungen mobiler als unter reduzierenden (Sulfidfällung). Bei sauren pH-Werten hohe Mobilität, neutral bis basisch gering mobil. Reines Quecksilber ist flüchtig. Durch Mikroorganismen Umwandlung zu organischen Hg-Verbindungen. Adsorption vor allem an organischer Substanz und Tonmineralen, unterschiedlich für verschiedene Hg-Verbindungen. Anreicherungsprozesse sind über den Nahrungsmittel-Transferpfad zu beobachten.

² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

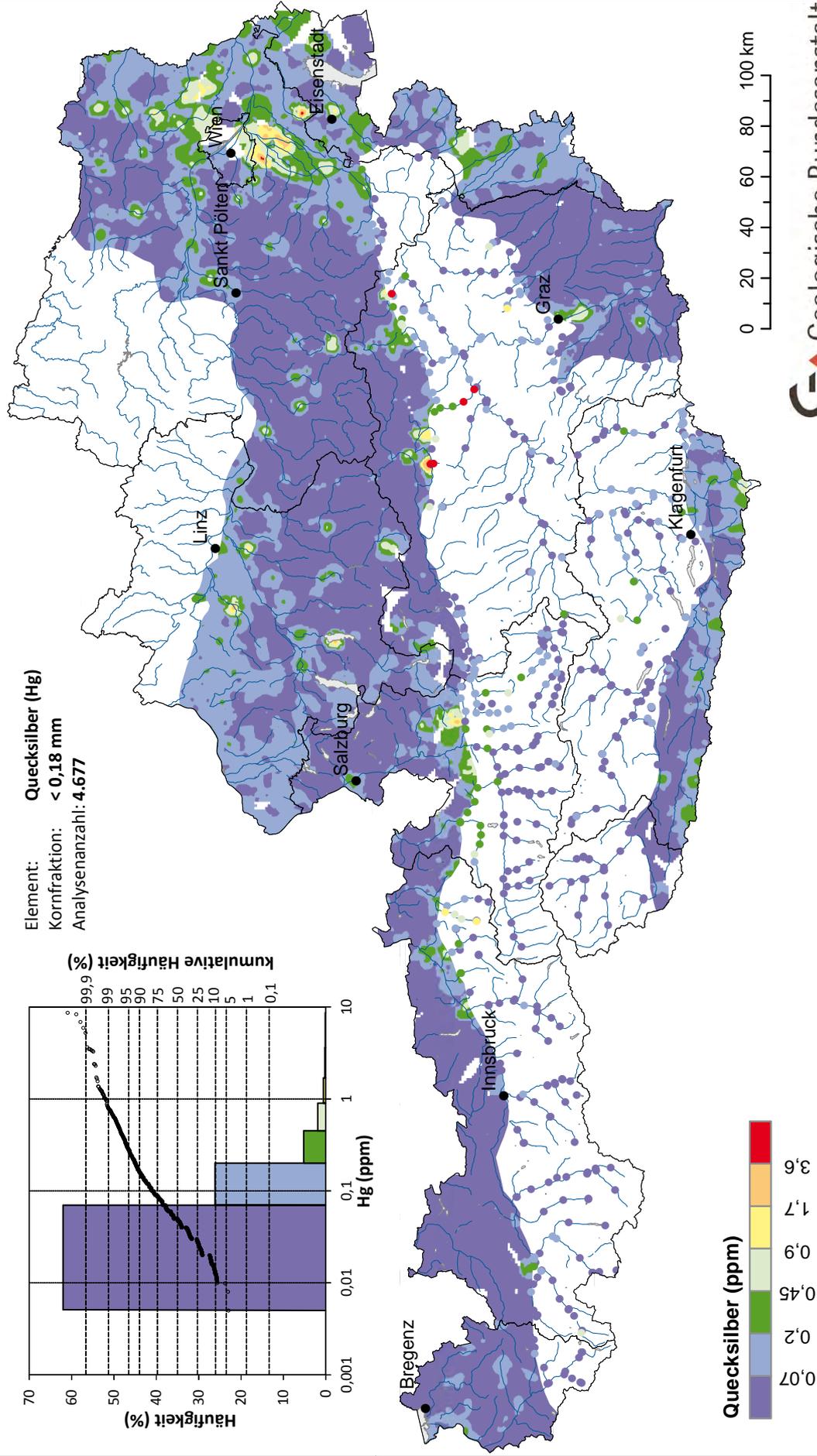
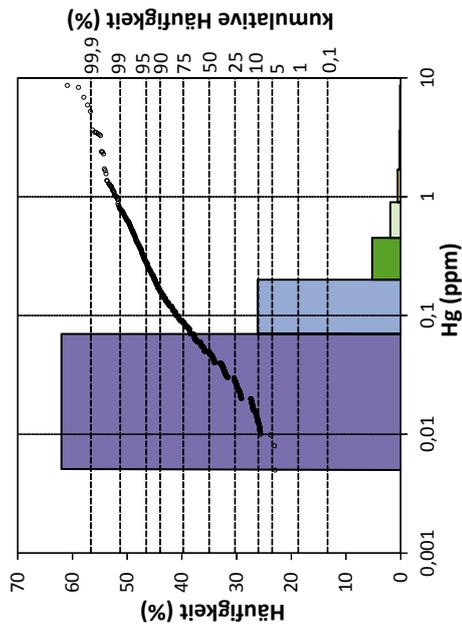


Abb. 70. Quecksilberverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

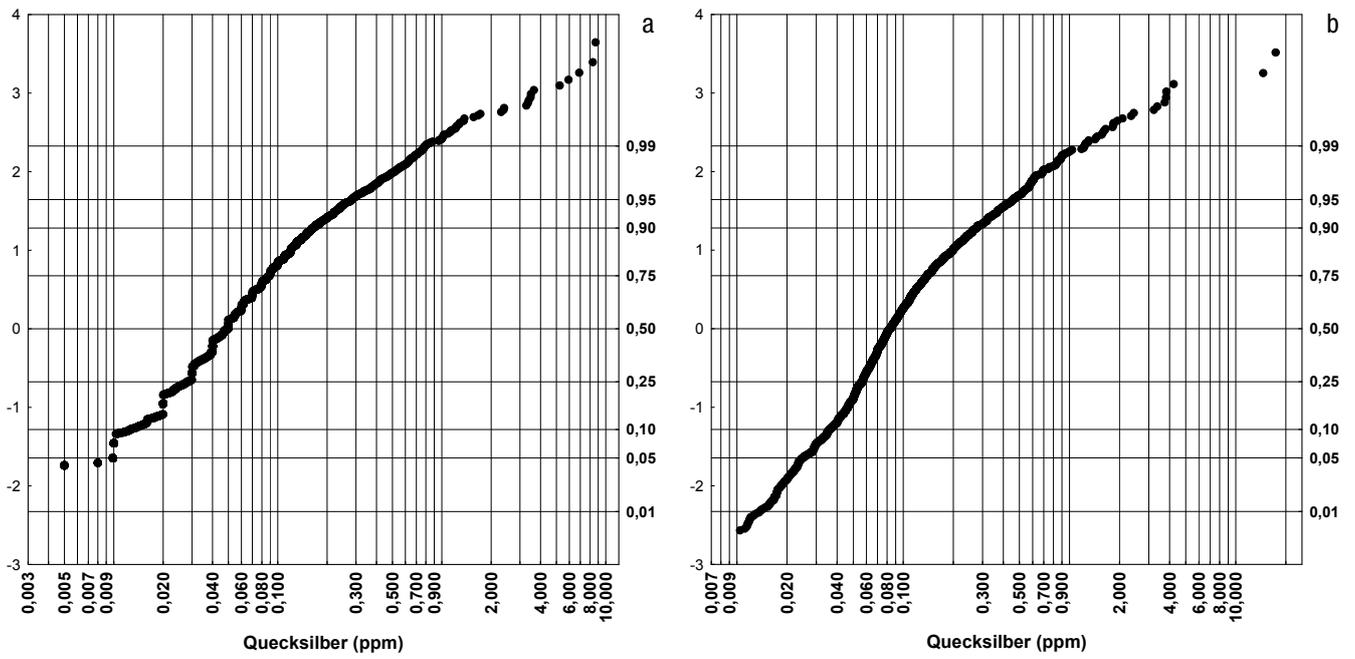


Abb. 71.
 Kumulative Häufigkeitsverteilung für Quecksilber in ppm; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) bzw. < 0,04 mm (b).

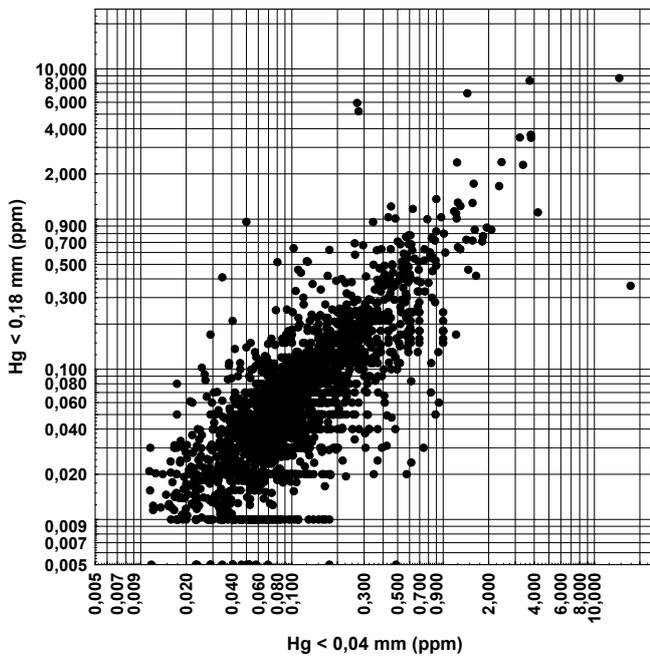


Abb. 72.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Quecksilber (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Daten über das Element Quecksilber in Bach- und Fluss-sedimenten gibt es erst seit den Bundesländerprojekten. Mehr als in 99 % dieser Analyseergebnisse sind die Hg-Konzentrationen < 1 ppm. Eine erste Übersicht zur flächigen Verteilung von Quecksilber in Bach- und Fluss-sedimenten zeigt sowohl geogene Zusammenhänge zu höheren Konzentrationen, als auch Hinweise auf anthropogen-technogene Belastungen.

Geogene Quellen sind einerseits Hg-führende Fahlerze in polysulfidischen Vererzungen (z.B. Kitzbüheler Alpen, Basis Tennengebirge sowie Östliche Grauwackenzone im Bereich Radmer und westlich Müzzuschlag), andererseits

das Vorkommen von Cinnaberit im Zusammenhang mit Sideritvererzungen (z.B. Steirischer Erzberg). Deutlich wird auch das Areal des ehemaligen Quecksilberbergbaus Vel-lacher Kotschna in Südkärnten herausgearbeitet.

Im Vordernbergerbach wirkt sich die Hg-Führung in den Sideriterzen bis zur Mündung in die Mur aus, wobei auch die Emissionen bei der Verhüttung dieser Erze in Donawitz einen Beitrag liefern.

Höhere und hohe Hg-Konzentrationen im Marchfeld und im südlichen Wiener Becken sind auf anthropogen-technogene Quellen zurückzuführen. Eine entsprechende Detailbearbeitung fehlt aber noch.

K – Kalium (Abb. 73–75)

Geogene Herkunft

Gesteinsbildendes Hauptelement der Erdkruste, das sich mit steigender Alkalisierung der Silikatmagmen in der oberen Erdkruste anreichert; assoziiert mit Spurenelementen wie Rubidium, Caesium, Barium, Thallium, Strontium und Blei. Kalium tritt vor allem in Kalifeldspäten und Feldspatvertretern (Leuzit) sowie in Glimmern (Muskovit, Biotit) und Tonmineralen (Illit) auf, daneben auch in Evaporitmineralen wie Polyhalit, Carnallit und Sylvin.

Häufigkeit (K in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	2,3 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,03 ³
basische Gesteine	0,8 ²
intermediäre Gesteine	2,3 ¹
granitische Gesteine	3,3 ²
Tonschiefer	2,7 ⁵
Sandsteine	1,1 ³
Karbonatgesteine	0,3 ³
illitische Unterböden	1,7 ⁴

Wichtige Kaliumminerale

Carnallit (14,07 % K), Glaserit (31,88 %), Kainit (15,70 %), Kaliumsulfat (44,88 %), Krugit (8,94 %), Langbeinit (18,84 %), Leonit (21,33 %), Polyhalit (12,97 %), Schönit (19,42 %), Sylvin (52,44 %), Syngenit (23,81 %), Carnotit (10,44 %), Kalifeldspäte (13–16 % K₂O), Muskovit (7,3–13,9 % K₂O), Illit (3–11 % K₂O), Biotit (6–11 % K₂O).

Kalium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8, 9}

Aegirin	1.000
Albit	1.000
Amphibole	1.000
Analcim	bis 60.000
Anglesit	100
Anhydrit	1.000
Beryll	100
Datolith	1.000
Elbait	1.000
Fassait	1.000
Jadeit	1.000
Nosean	1.000
Omphacit	bis 24.000
Orthit	100
Perowskit	100
Plagioklase	1.000
Prehnit	1.000
Serpentin	100
Sodalith	1.000
Spodumen	1.000
Topas	1.000
Tremolit	1.000
Turmalin	100
Vermiculit	5.000
Vesuvian	1.000

Technogene Herkunft

Verwendung in verschiedenen Chemikalien, Düngemitteln, Legierungen, Alkaliphotozellen, Kühlmitteln, Wärmeaustauscher, Schießpulver. Der technogene Eintrag in die Umwelt fällt wegen der unproblematischen Eigenschaften von Kalium kaum ins Gewicht.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement für alle Organismen. Mit Ausnahme der rar auftretenden Hyperkaliämie (Elektrolytstörung infolge K-Überschusses) sind keine toxischen Wirkungen bekannt. Mobilität von Kalium ist auf Grund der starken Sorption an Tonmineralen unter allen Redox- und pH-Bedingungen als gering einzustufen.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

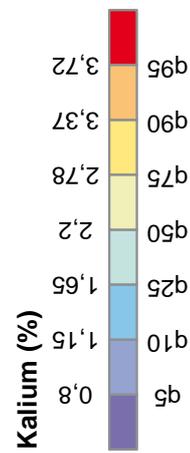
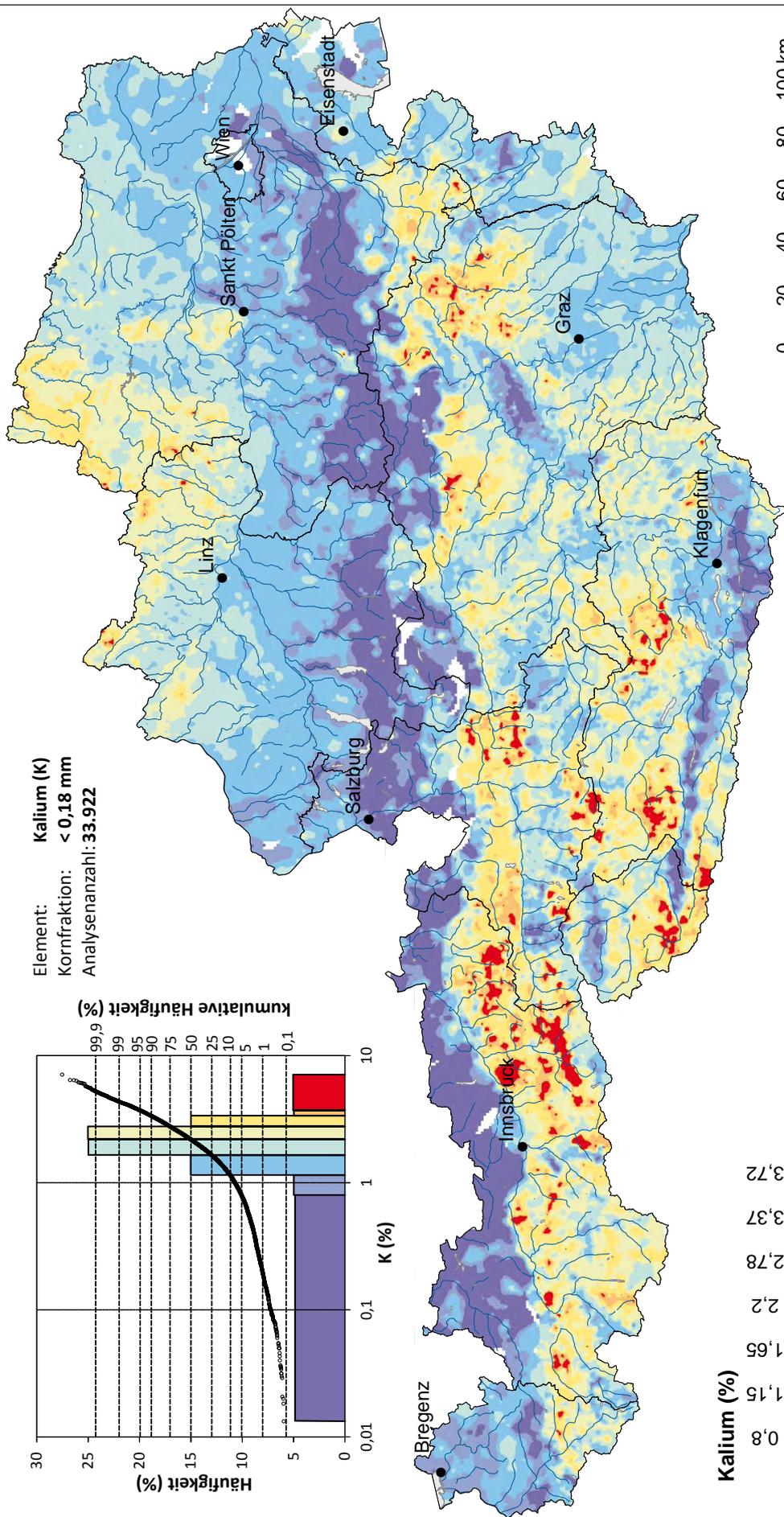
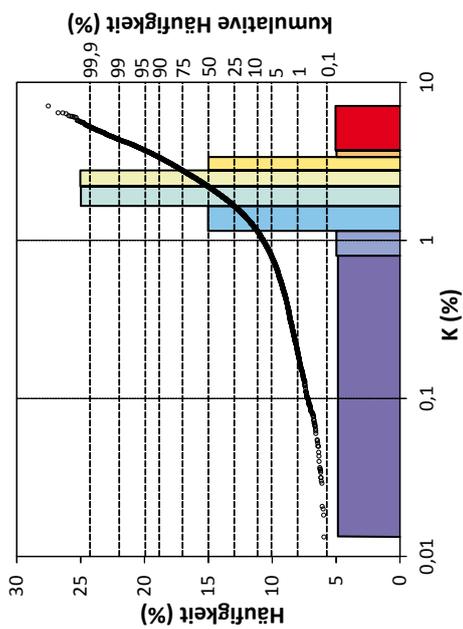


Abb. 73.
Kaliumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

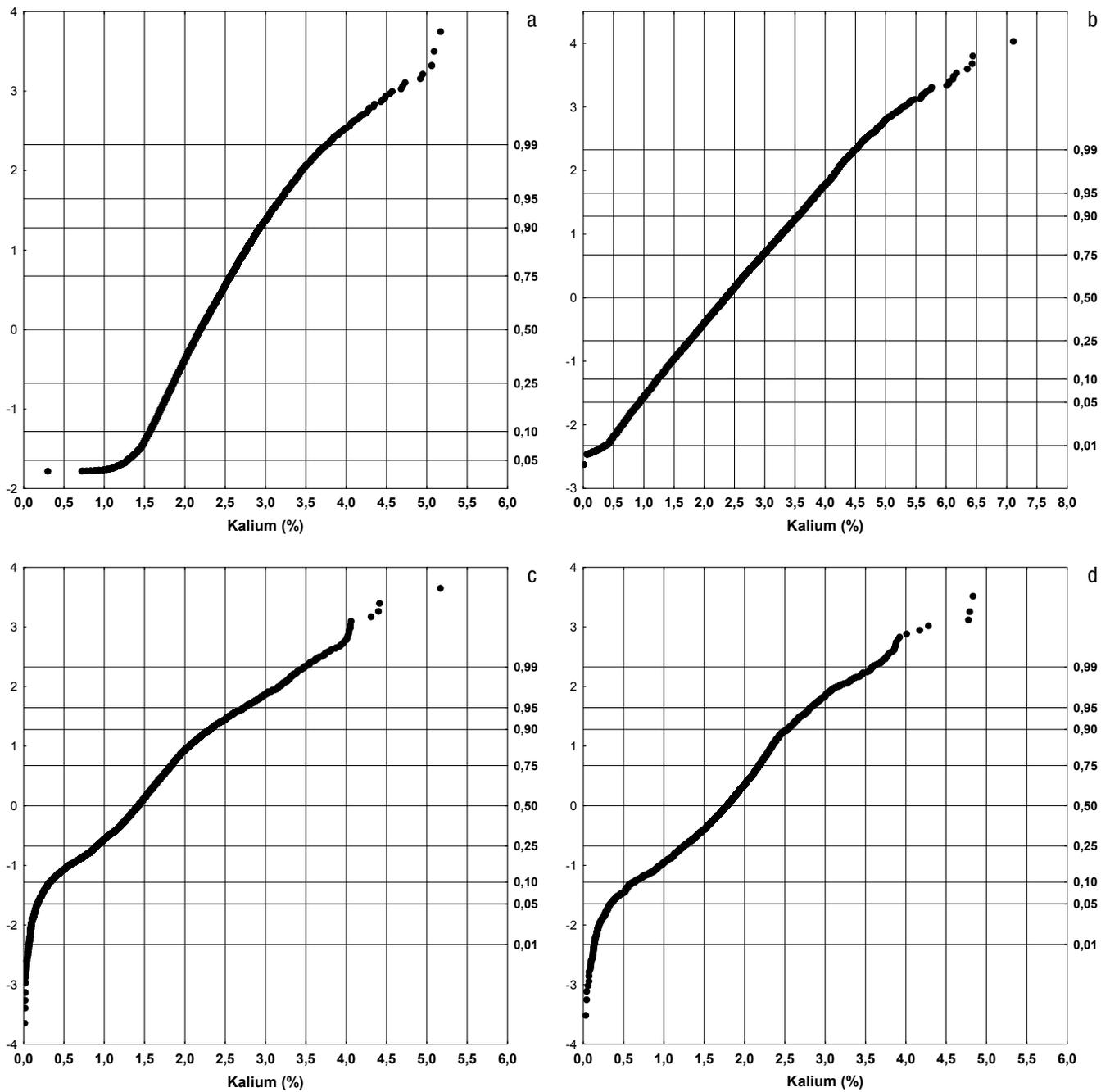


Abb. 74. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Kalium in %; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

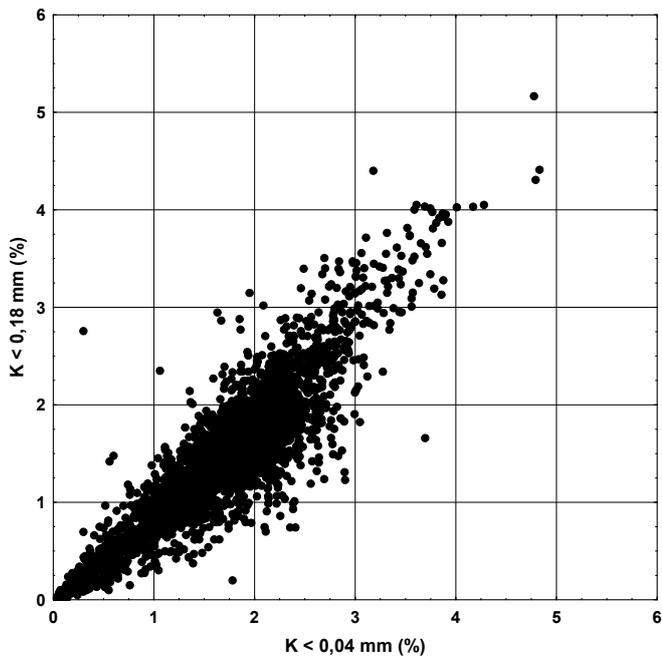


Abb. 75.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Kalium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die räumliche Kaliumverteilung in den Bach- und Fluss-sedimenten korreliert direkt mit der lithologisch bedingten Verteilung von Kalium führenden Feldspäten, Glimmern und Tonmineralen.

Obwohl Kalium auch verbreitet als Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt wird, dürften die räumlichen Muster von den geogenen Grundgehalten dominiert werden.

Die Minima der K-Konzentrationen liegen somit in den Karbonatgebieten der Nördlichen Kalkalpen, im Drauzug und den Karawanken sowie in allen Gebieten mit Marmoren, Kalkglimmerschiefern oder Kalkphylliten.

La – Lanthan (Abb. 76–79)

Geogene Herkunft

Erstes Element der Gruppe der Seltenen Erden; Anreicherung mit zunehmender Alkalisierung der Magmen; Ce/La-Verhältnis vorwiegend 2 bis 3. Tritt vor allem in Ce-haltigen Schwermineralen auf (Monazit, Bastnäsit, Allanit, Cerit, Davidit). Auch in Ca-haltigen Mineralen wie Apatit, Titanit und Epidot. Als Spurenelement auch in Biotit, Pyroxenen, Feldspäten und Zirkon. Sehr stark mit Cer assoziiert (hohe Korrelation).

Häufigkeit (La in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	31 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,X ³
basische Gesteine	10 ²
intermediäre Gesteine	45 ²
granitische Gesteine	40 ²
Tonschiefer	48 ⁸
Sandsteine	7,5 ⁸
Karbonatgesteine	4 ⁸
Unterböden	26 ⁴

Wichtige Lanthanminerale

Monazit (bis 56 % Se_2O_3), Allanit (bis 12,7 % Se_2O_3), Parisit, Cerit, Bastnäsit (\varnothing 10 % Se_2O_3)¹, Iraqit (bis 6,78 % La_2O_3), Rhabdophan (> 60 % Se_2O_3).

Weitere Lanthanminerale

Braitschit	
Davidit	
Karnasurtit	
Lanthanit	
Okanoganit	
Röntgenit	
Stillwellit	
Törnebohmit	
Tundrit	
Vitusit	
Pyrochlor	2–13,3 % $(\text{Ce}, \text{La})_2\text{O}_3$
Samarskit	0,37–1,07 % La_2O_3

Lanthan als Spurenelement in ppm⁸

Apatit	100
Eudialyt	1.000

Technogene Herkunft

Vielfache technische Verwendung, meist mit Cer und anderen Seltenen Erden in Zündsteinen, optischen Gläsern, Schleifmitteln, Batterien, Katalysatoren, keramischen Sondermassen, Kathoden und Supraleitern; in verschiedenen Legierungen (mit Cobalt, Nickel, Titan) wird Lanthan für Magnetwerkstoffe, Akkumulatoren und medizinische Werkzeuge verwendet. Technogen verursachter Eintrag in die Umwelt ist unbedeutend. Technogener Eintrag im Bereich des SEE-Bergbaus, der Ölindustrie und bei Elektronikabfällen.

Verhalten in der Umwelt

Lanthan wird als biologisch inaktives und für Organismen nicht essenzielles Spurenelement angesehen. Bezüglich toxischer Wirkungen sind kaum Daten verfügbar; aus der Lanthan verarbeitenden Industrie gibt es jedoch Hinweise auf eine gewisse Toxizität gasförmiger Lanthanphasen und Gesundheitsgefährdung durch Inhalation von SEE-Stäuben bzw. durch Akkumulation von SEE in Knochen, Zähnen, Leber und Lunge.

Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen gering. In Bachsedimenten Anreicherung in der Schwermineralfraktion.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

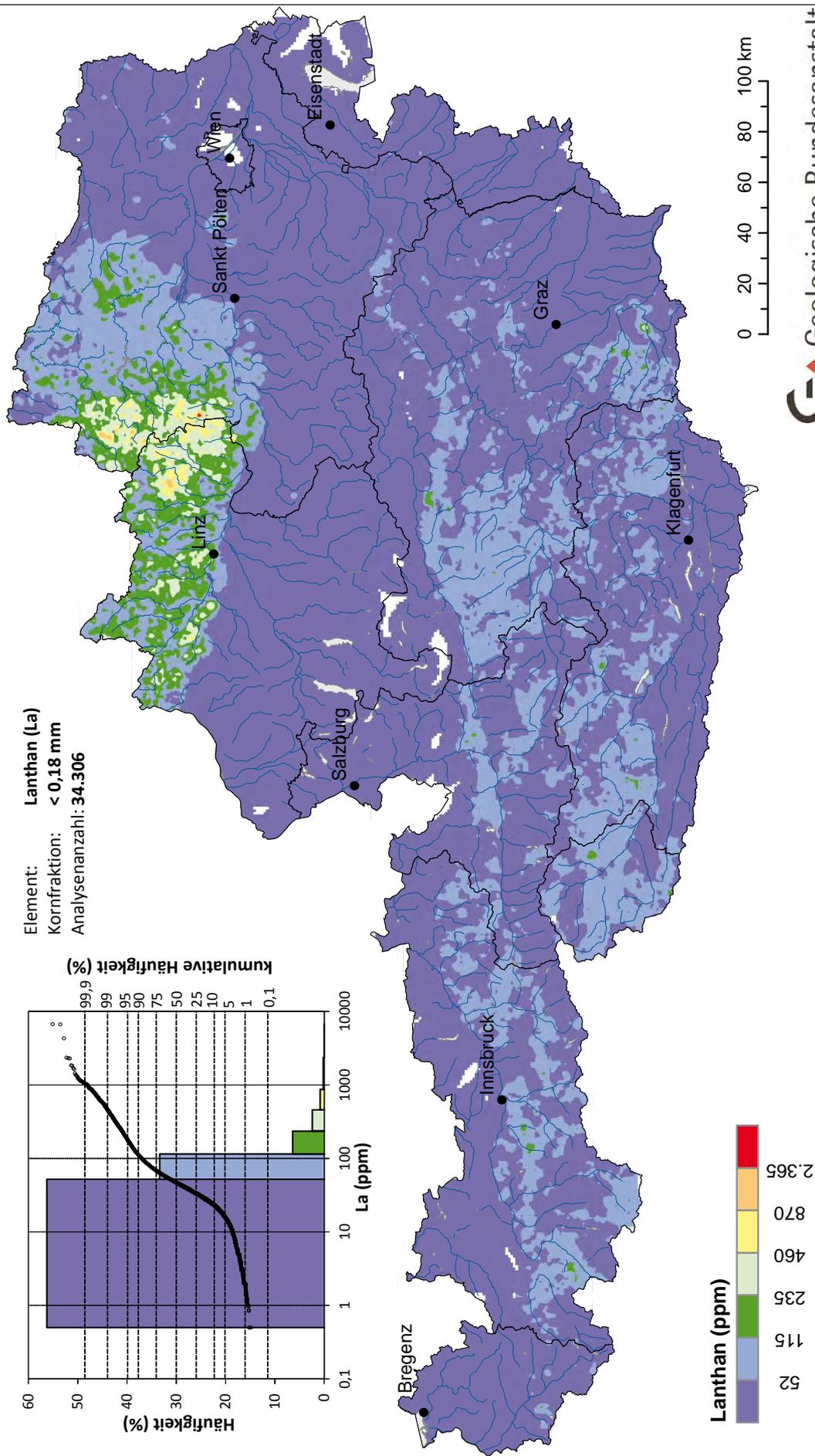
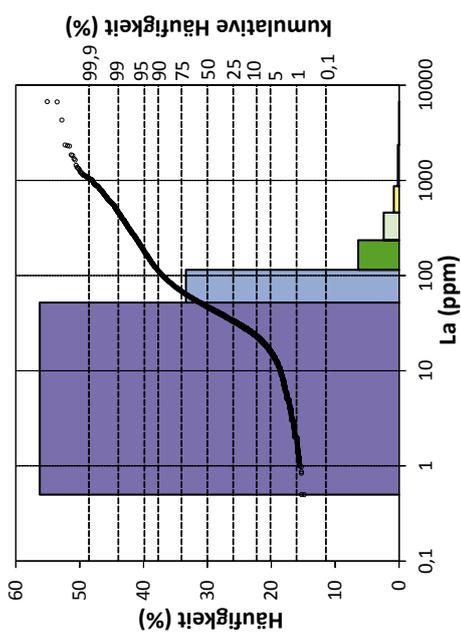


Abb. 76.
 Lanthanverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

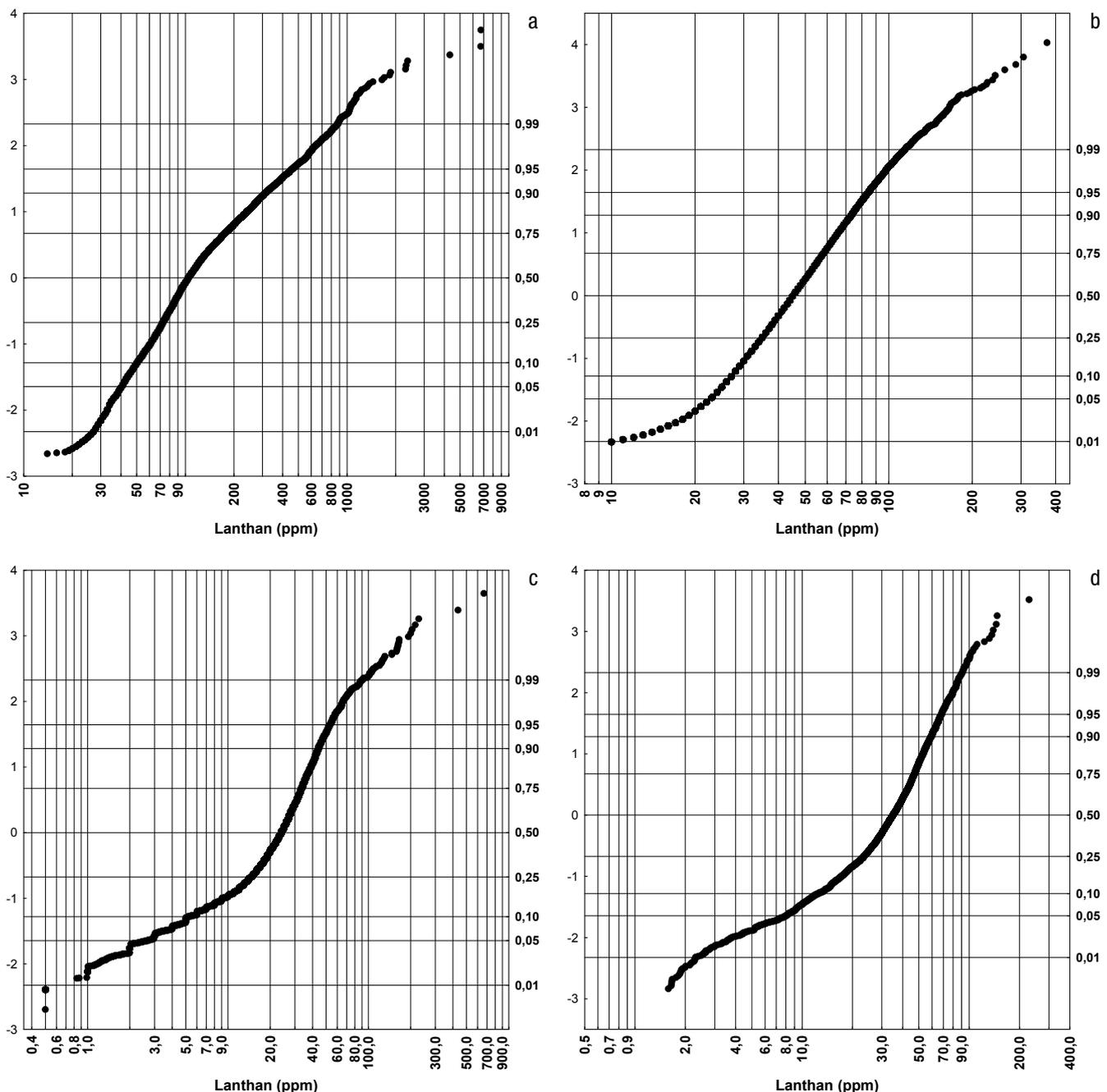


Abb. 77. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Lanthan in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Lanthan ist wie Cer in den Bach- und Fluss-sedimenten an das Vorkommen von Schwermineralen gebunden (insbesondere Monazit, Orthit). Die jeweilige Elementkonzentration im Sediment ist daher nicht nur von der Lithologie des Einzugsgebietes abhängig, sondern auch von den Transport- und Sedimentationsbedingungen im jeweiligen Bach-/Flussabschnitt. Minerale mit höherem spezifischen Gewicht („Schwerminerale“) werden im Bachverlauf verstärkt direkt unterhalb von Hindernissen abgelagert und damit an bestimmten Stellen angereichert. Auf Grund ihrer durchschnittlichen Korngröße finden sich diese Schwerminerale auch meist in der Feinstfraktion.

In der Gesamtübersicht für die Analyseergebnisse der Kornfraktion < 0,18 mm fallen die verbreitet hohen Konzentrationen (>> 400 ppm) in der Böhmischen Masse auf. Das hat wie bei den anderen analysierten SEE drei Gründe:

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

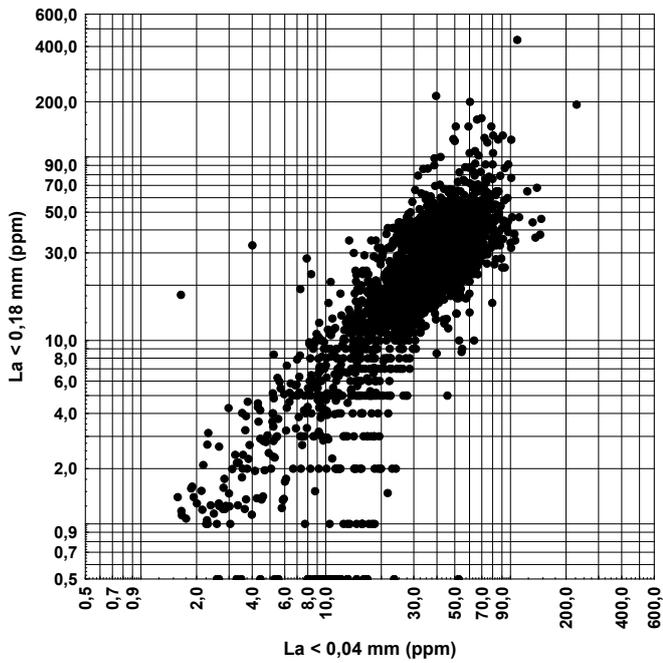


Abb. 78.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Lanthan (Bundesländerprojekte).

Durch diese Dominanz der sehr hohen La-Konzentrationen in der Böhmischen Masse werden die Verteilungsmuster im übrigen Bundesgebiet undeutlich, da dort kaum La-Konzentrationen > 500 ppm anzutreffen sind.

Um die Verteilungsmuster auch in Gebieten verbreitet niedrigerer La-Konzentrationen zu verdeutlichen, werden in Abbildung 79 die Analyseergebnisse der Kornfraktion < 0,18 mm aus den Bundesländerprojekten getrennt dargestellt. Damit wird herausgearbeitet, dass die Konzentrationsminima mit den Karbonatgebieten verknüpft sind. Die größeren Flüsse innerhalb der Zentralzone führen natürlich höhere Schwermineralgehalte und werden somit auch durch höhere La-Konzentrationen charakterisiert. Sehr deutlich sind auch die Randeffekte z.B. entlang des Südrandes der Böhmischen Masse oder des Ostrandes der Koralpe zu sehen, wo Bäche und Flüsse aus dem Kristallin in die neogenen Becken übertreten. Die durchschnittlichen La-Konzentrationen in den quartären und neogenen Lockersedimenten sind ebenfalls nicht sehr hoch, heben sich aber deutlich von den Minima der Kalkalpen ab.

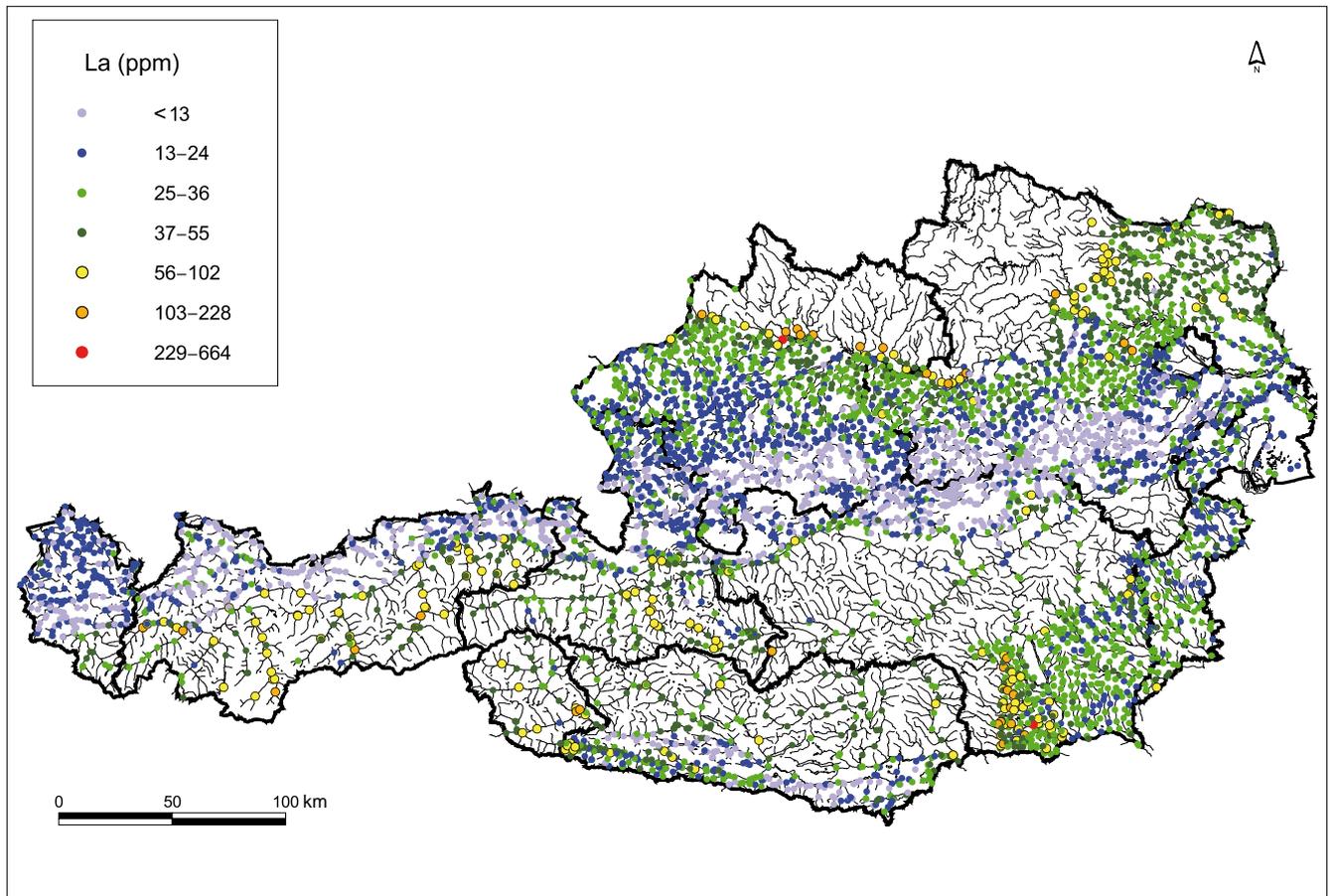


Abb. 79.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion < 0,18 mm, Bundesländerprojekte; Lanthanverteilung.

Li – Lithium (Abb. 80–83)

Geogene Herkunft

Lithium ist ein lithophiles Metall, das vor allem in silikatischen Mineralen vorkommt. Wirtschaftliche Hauptminerale sind Spodumen $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, Lepidolite $\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_4\text{Si}_7\text{O}_{21}(\text{OH},\text{F})_3$, Petalit, Amplygonite, Jadrait $\text{NaLi}[\text{B}_3\text{SiO}_7(\text{OH})]$ u.a. Als Neben- und Spurenelement kommt es häufig in Kalifeldspat, Glimmern (Biotit), Amphibolen und Tonmineralen vor, wo es Kalium, Natrium und Magnesium substituiert.

Häufigkeit (Li in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	41 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,5 ⁷
basische Gesteine	10 ²
intermediäre Gesteine	21 ¹
granitische Gesteine	0 ²
Tonschiefer	66 ⁵
Sandsteine	15 ⁵
Karbonatgesteine	20 ⁵

Wichtige Lithiumminerale

Amblygonit (3,5–10 % Li_2O), Spodumen (Ø 4–7 % Li_2O), Lepidolith (1,3–6,06 % Li_2O), Petalit (1–4,5 % Li_2O), Zinnwaldit (1,58–1,6 % Li), Lithiophililit (4,4 % Li), Triphylin (4,4 % Li), Holmquistit (2,4–3,6 % Li_2O).

Lithium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Amphibole	bis 800
Axinit	100
Beryll	100
Biotit	bis 700
Carnallit	100
Muskovit	bis 1.000
Nephelin	bis 35
Phlogopit	100
Plagioklase	bis 15
Pyroxene	10
Vesuvian	100

Technogene Herkunft

Flussmittel in der Keramikindustrie, Zusatz zu Spezialglasuren, UV-durchlässiges Glas für Linsen, Legierungen (mit Pb, Al), Klimaanlage, Li-Akkumulatoren, Zusatz zu Schmiermitteln, für medizinische Zwecke, Zündvermittler in der Wasserstoffbombe, Bauteile von Raketenkapseln und als „Getter“-Metall. Verbreitung in der Umwelt weitgehend unbekannt, ist auf Grund geringer Toxizität wahrscheinlich unkritisch. Bei Pflanzen ist eine gewisse Toxizität ab einer Konzentration von 60 ppm bekannt.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement. Mangel an Lithium kann mentale Probleme verursachen. Überdosierungen führen aber zu toxischen Reaktionen. Lithium ist feuergefährlich und gibt bei der Verbrennung reizende und giftige Dämpfe an die Umwelt ab.

Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen gering. Adsorption an Mn-Oxide und an Tonminerale.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁷ VINOGRADOV (1962), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

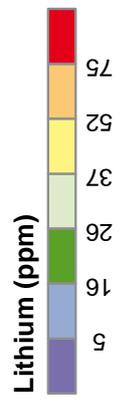
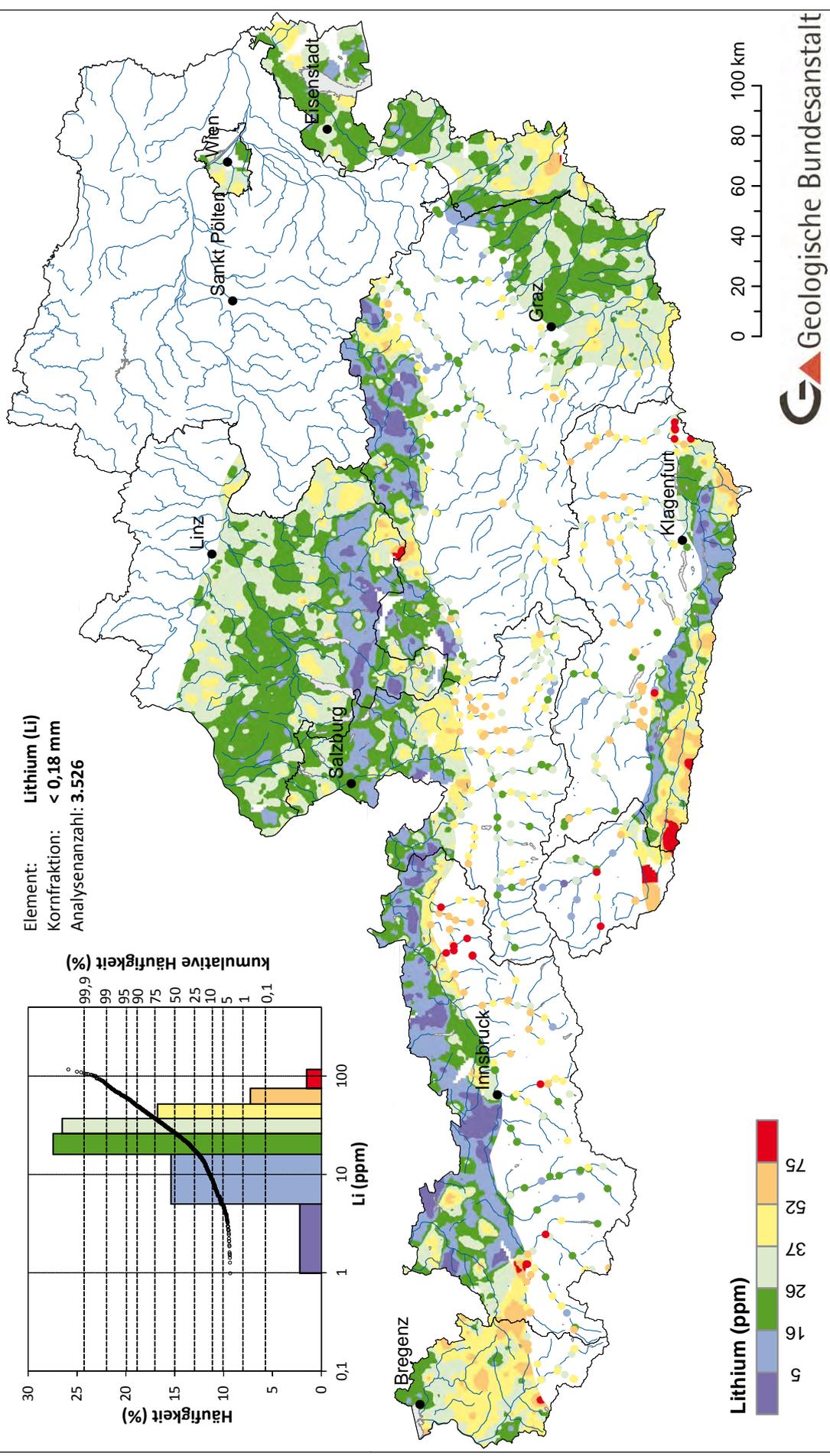
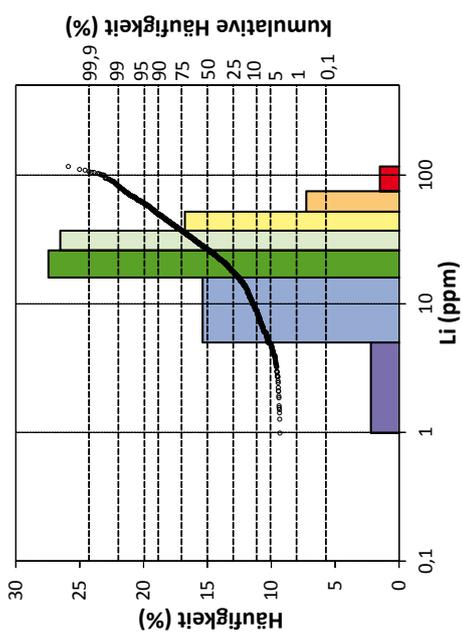


Abb. 80. Lithiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

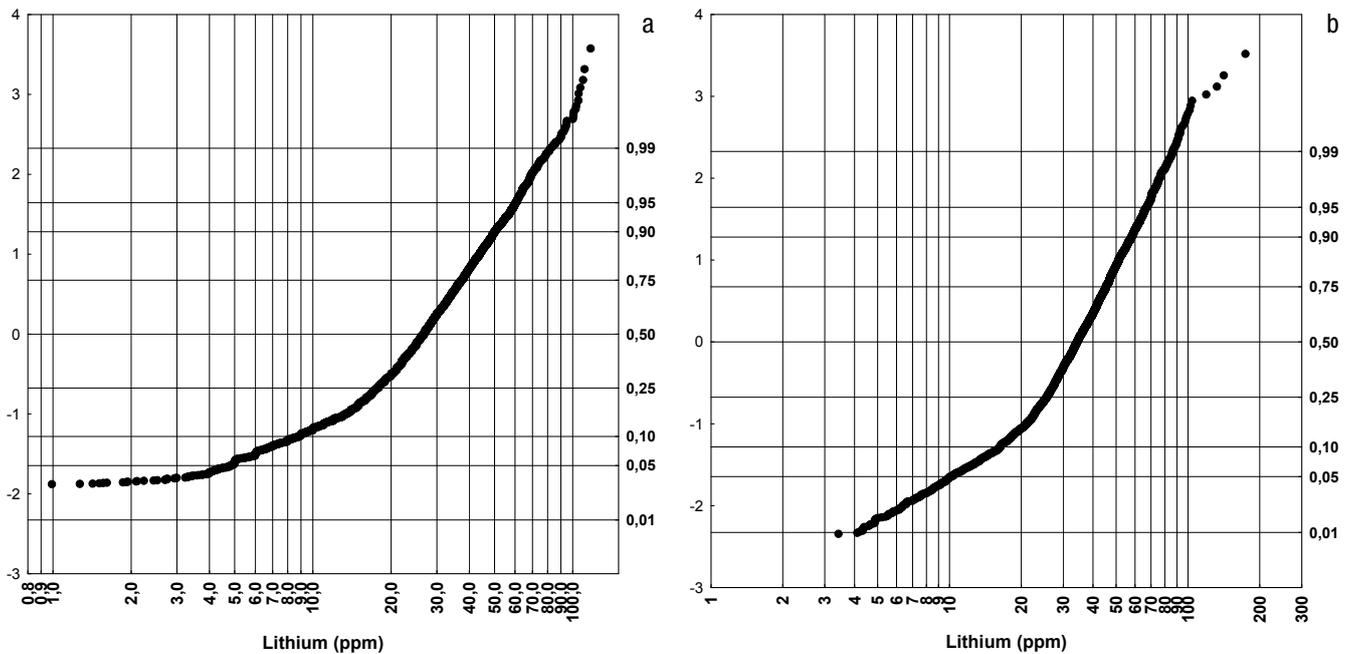


Abb. 81.
Kumulative Häufigkeitsverteilung für Lithium in ppm; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) bzw. < 0,04 mm (b).

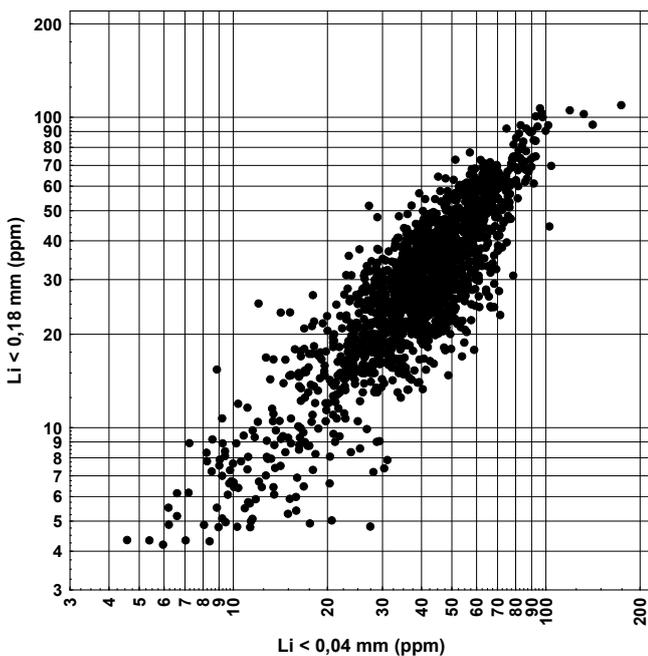


Abb. 82.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Lithium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Lithium wurde erst in den Bundesländerprojekten in die Analytikliste aufgenommen. Es liegen aber auch keine Li-Werte für die Kornfraktion < 0,18 mm aus dem Bundesland Niederösterreich vor.

Das Element Lithium substituiert die Elemente Kalium, Natrium und Magnesium im Gitter von Feldspäten, Glimmern und Amphibolen. Die räumliche Verteilung dieses Elements in den Bach- und Flusssedimenten korreliert somit mit dem Vorkommen dieser gesteinsbildenden Minerale. Da in den Gebieten, in denen Spodumen führende Pegmatite vorkommen, Bachsedimentanalysen nur aus den Hauptflüssen vorliegen, lässt die Bachsedimentgeochemie keine spezifischen Hinweise auf diese Lithiumquellen zu.

Zur Ergänzung wird in Abbildung 83 die Lithiumverteilung für das Bundesland Niederösterreich an Hand der Ergebnisse nach der Kornfraktion < 0,04 mm dargestellt. Die regionalen Muster nach den geologischen Einheiten entsprechen vollständig den Ergebnissen der Kornfraktion < 0,18 mm in den anderen Bundesländern.

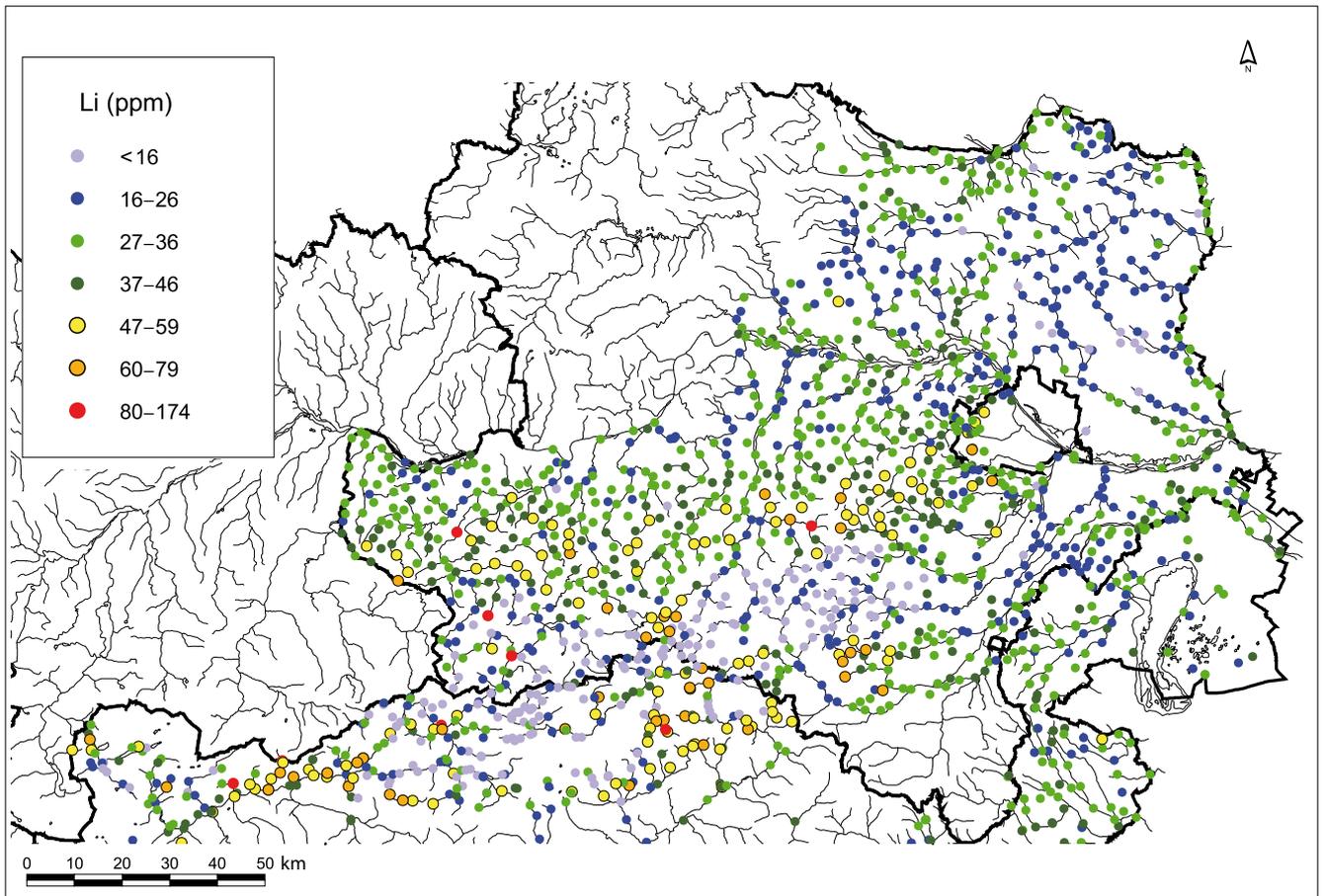


Abb. 83. Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion < 0,04 mm, Bundesländerprojekte / Ausschnitt Niederösterreich, Nordsteiermark und Nordburgenland; Lithiumverteilung.

Mg – Magnesium (Abb. 84–86)

Geogene Herkunft

Lithophiles Hauptelement, im Erdmantel, in ultrabasischen und basischen magmatischen Gesteinen und im Meerwasser angereichert; als Erdalkalielelement mit Kalzium assoziiert. Magnesium ist Hauptbestandteil vieler Mineralgruppen (Silikate, Karbonate, Sulfate, Phosphate, Sulfide). Wichtige Magnesiumminerale sind Silikate wie Amphibole, Olivine, Pyroxene, Glimmer und Tonminerale, Karbonate wie Magnesit und Dolomit, Oxide und Hydroxide wie Periklas MgO und Brucit Mg(OH)₂.

Häufigkeit (Mg in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	1,5 ⁶
ultrabasische Gesteine	20,4 ³
basische Gesteine	4,5 ²
intermediäre Gesteine	2,2 ¹
granitische Gesteine	0,2 ²
Tonschiefer	1,5 ⁵
Sandsteine	0,7 ³
Karbonatgesteine	4,7 ³
Unterböden	0,6 ⁴

Wichtige Magnesiumminerale

Periklas (60 % Mg), Brucit (42 %), Olivin (bis 35 %), Forsterit (35 %), Magnesit (29 %), Serpentin (26 %), Enstatit (24 %), Amphibole (bis 24 %), Talk (19 %), Boracit (19 %), Hypersthen (18 %), Spinell (17 %), Biotit (16 %), Garnierit (14 %), Dolomit (13 %), Pyroxene (11 %), Ankerit (7 %).

Magnesium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8, 9}

Andalusit	1.000
Anhydrit	100
Apatit	100
Axinit	bis 20.000
Boehmit	1.000
Calcit	bis 40.000
Datolith	1.000
Epidot	1.000
Gibbsit	1.000
Hämatit	100
Ilmenit	bis 20.000
Lasurit	1.000
Magnetit	bis 60.000
Muskovit	bis 24.000
Orthit	1.000
Prehinit	1.000
Pyrophyllit	bis 5.000
Rhodonit	bis 30.000
Siderit	bis 58.000
Spodumen	1.000
Staurolith	bis 20.000
Turmalin (Schörl)	bis 33.000
Wolframit	100
Wollastonit	1.000
Zinnwaldit	1.000
Zoisit	1.000

Technogene Herkunft

Verwendung von Magnesium in der Automobil- und Flugzeugindustrie, im Maschinen- und Apparatebau, bei Feuerfestprodukten, Düngemitteln, Spezialzementen, Reaktorwerkstoffen, Pyrotechnik, Füllstoffen (Talk) und Legierungen. Technogene Verbreitung in der Umwelt nicht identifizierbar und unbedenklich.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement für alle Organismen (wichtig für Photosynthese). Praktisch keine Toxizität, Mangel an Magnesium ist schwerwiegender als Überschuss (z.B. Chlorose in Pflanzen); Mobilität ist unter allen Redox- und pH-Bedingungen hoch. Sorption an Tonminerale; in Bachsedimenten Anreicherung in der Feinfraktion.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

Element: Magnesium (Mg)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.304

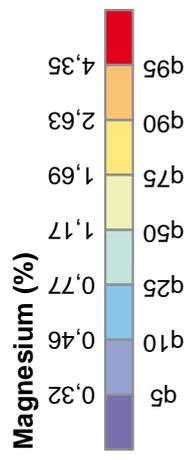
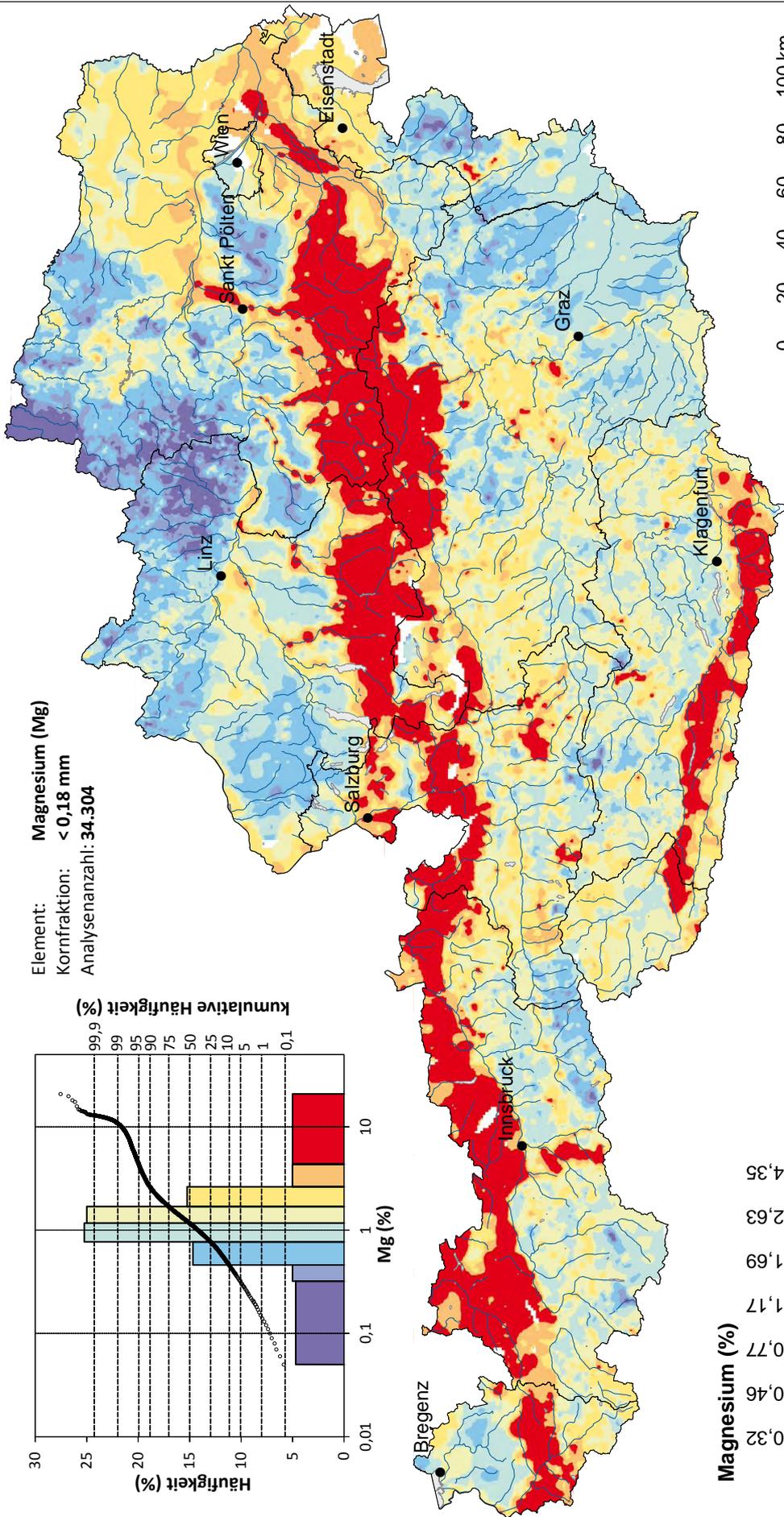
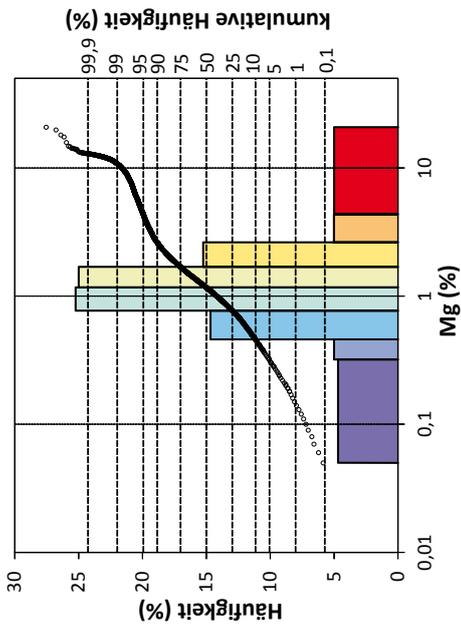


Abb. 84. Magnesiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

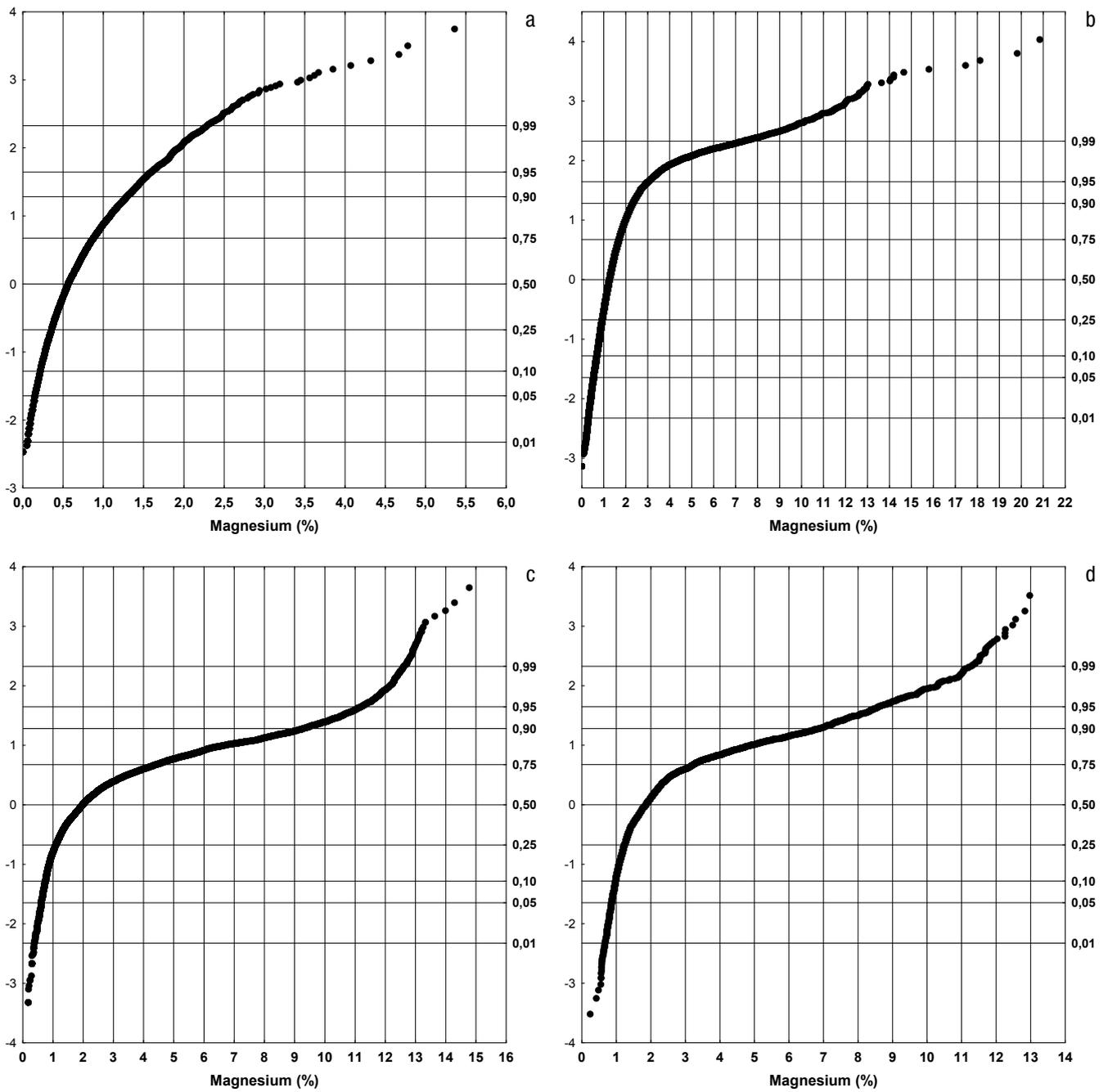


Abb. 85. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Magnesium in %; Böhmisches Mass (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

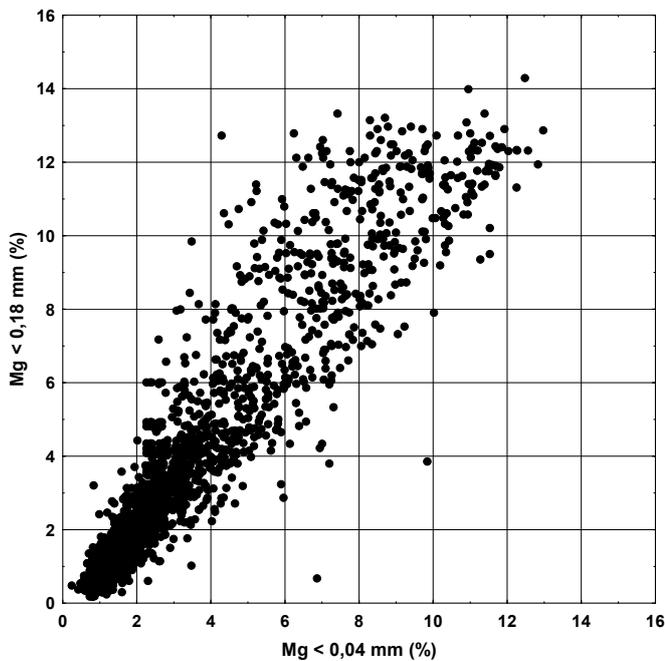


Abb. 86.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Magnesium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die Magnesiumverteilung in den Bach- und Flusssedimenten verweist einerseits auf die Vorkommen von Karbonatgesteinen (Dolomite, dolomitische Mergel, Dolomitmarmor u.a.) in den Einzugsgebieten hin, andererseits spiegelt sie innerhalb der nichtkarbonatisch-kristallinen Serien die unterschiedliche Verbreitung gesteinsbildender, Mg-führender Silikatminerale (Amphibole, Pyroxene, Glimmer, Tonminerale) wider.

Testverrechnungen der Analyseergebnisse für CaO und MgO (+ Glühverlust bei 1.000 °C » CO₂) im Bereich der Nördlichen Kalkalpen belegen, dass an Hand der Sedimentanalytik gebietsweise sogar eine Qualitätsaussage zu den (Rein-)Karbonaten im Einzugsgebiet möglich ist. Zumindest ist damit eine erste lithologisch-gesteinsgeochemische Charakterisierung der Einzugsgebiete durchaus aussagekräftig. Dies gilt nicht nur für die Nördlichen Kalkalpen, sondern auch für Drauzug, Lienzer Dolomiten und Karawanken.

Mit dieser Sedimentanalytik wird auch der durchwegs karbonatische Charakter des Helvetikums in Vorarlberg belegt. Räumlich eng verknüpfte karbonatische und nichtkarbonatische Serien – wie z.B. in den oberen und unteren Penninischen Decken oder im Grazer Paläozoikum – werden teilweise durch die Verteilung der unterschiedlichen Mg-Konzentrationen nachgezeichnet. Auch sehr lokale, meist isolierte Karbonatvorkommen werden nachgewiesen (z.B. Brennermesozoikum, Kalkspitzen in den Radstädter Tauern, Mesozoikum östlich des Krappfelds). Basische Gesteinsserien können ebenfalls höhere Grundgehalte an Magnesium aufweisen.

Hinzuweisen ist auf das Phänomen, dass Flüsse, die in den Kalkalpen entspringen (z.B. Traun, Alm, Steyr, Ybbs, Traisen, Triesting, Piesting u.a.) ihre karbonatische Matrix bis zur Mündung beibehalten. Ansonsten lassen die eher niedrigen Mg-Konzentrationen im Bereich der Molassezone und der inneralpinen Becken darauf schließen, dass die Liefergebiete der quartären und neogenen Lockersedimentserien überwiegend aus nichtkarbonatischen Gesteinsserien stammten.

Mn – Mangan (Abb. 87–89)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement, als Übergangselement mit Eisen assoziiert. Angereichert in hydrothermalen Mineralisationen, sedimentären Lagerstätten mit oxidischen, karbonatischen und silikatischen Erzen. Manganknollen und -krusten in Tiefseebereichen.

Vorherrschende Manganminerale Pyrolusit MnO_2 , Manganit $MnO(OH)$, Rhodochrosit $MnCO_3$, Psilomelan $BaMn_9O_{18} \cdot H_2O$ u.a.; Neben- bis Spurenelement in Pyroxenen, Amphibolen, Glimmer, Calcit, Dolomit und Hydroxiden (in Unterböden und Verwitterungsprodukten).

Häufigkeit (Mn in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	774 ⁶
ultrabasische Gesteine	1.620 ³
basische Gesteine	1.500 ²
intermediäre Gesteine	1.200 ¹
granitische Gesteine	400 ²
Tonschiefer	850 ⁵
Sandsteine	50 ³
Karbonatgesteine	1.100 ³
Unterböden	465 ⁴

Wichtige Manganminerale

Psilomelan-Gruppe (45–60 % Mn), Polianit-Pyrolusit (63 %), Ramsdellit (63 %), Manganit (62 %), Rhodochrosit (48 %), Braunit (50–62 %), Hausmannit (72 %), Bixbit (30–40 %), Alabandin (63 %), Rhadonit (42 %), Franklinit (bis 31 %), Wolframit (9 %), Columbit (8 %).

Mangan als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Ankerit	bis 18.000
Anthophyllit	bis 20.000
Arsenopyrit	3.000
Boulangerit	bis 3.000
Brucit	bis 160.000
Calcit	bis 78.000
Chalkopyrit	bis 20.000
Chloritoid	bis 90.000
Chromit	bis 3.000
Diaspor	bis 24.000
Dolomit	bis 18.000
Ferroaktinolith	bis 23.000
Galenit	bis 2.000
Ilvait	bis 90.000
Klinochlor	bis 20.000
Muskovit	bis 14.000
Pyrit	bis 10.000
Pyrrhotin	3.000
Rubellit	bis 14.000
Sphalerit	bis 50.000
Titanit	bis 18.000
Vivianit	bis 40.000
Wollastonit	bis 9.000
Zinkit	bis 100.000
Zirkon	bis 6.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Stahl (Ferromangan), Legierungen mit Kupfer und Aluminium, als Zusatz zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit, Batterien, Düngemitteln, Chemikalien, Glas, keramische Industrie, Farben, als Raffinationsmittel zum Entschwefeln und zur Desoxidation. Verbreitung in der Umwelt durch Metallverhüttung und -verarbeitung, Verkehr. Im Allgemeinen technogener Eintrag im Vergleich zum geogenen Eintrag von untergeordneter Bedeutung.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement. Toxisch nur bei hoher Konzentration; Mn-Mangel für Organismen ist meist von größerer Bedeutung als Mn-Überschuss. Unter oxidierenden Bedingungen sehr geringe Mobilität (Ausfällung von gelöstem Mangan gemeinsam mit Eisen). Höhere Mobilität im reduzierenden, sauren Milieu. Bei neutralem bis basischem pH-Wert sehr geringe Mobilität. Kolloidale Suspensionen von $MnO(OH)_4$ weisen hohe Sorptionseigenschaften für Kationen, wie Co^{2+} , Zn^{2+} u.a. auf; in Bachsedimenten Anreicherung in der Feinfraktion.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

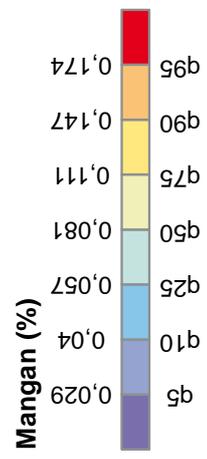
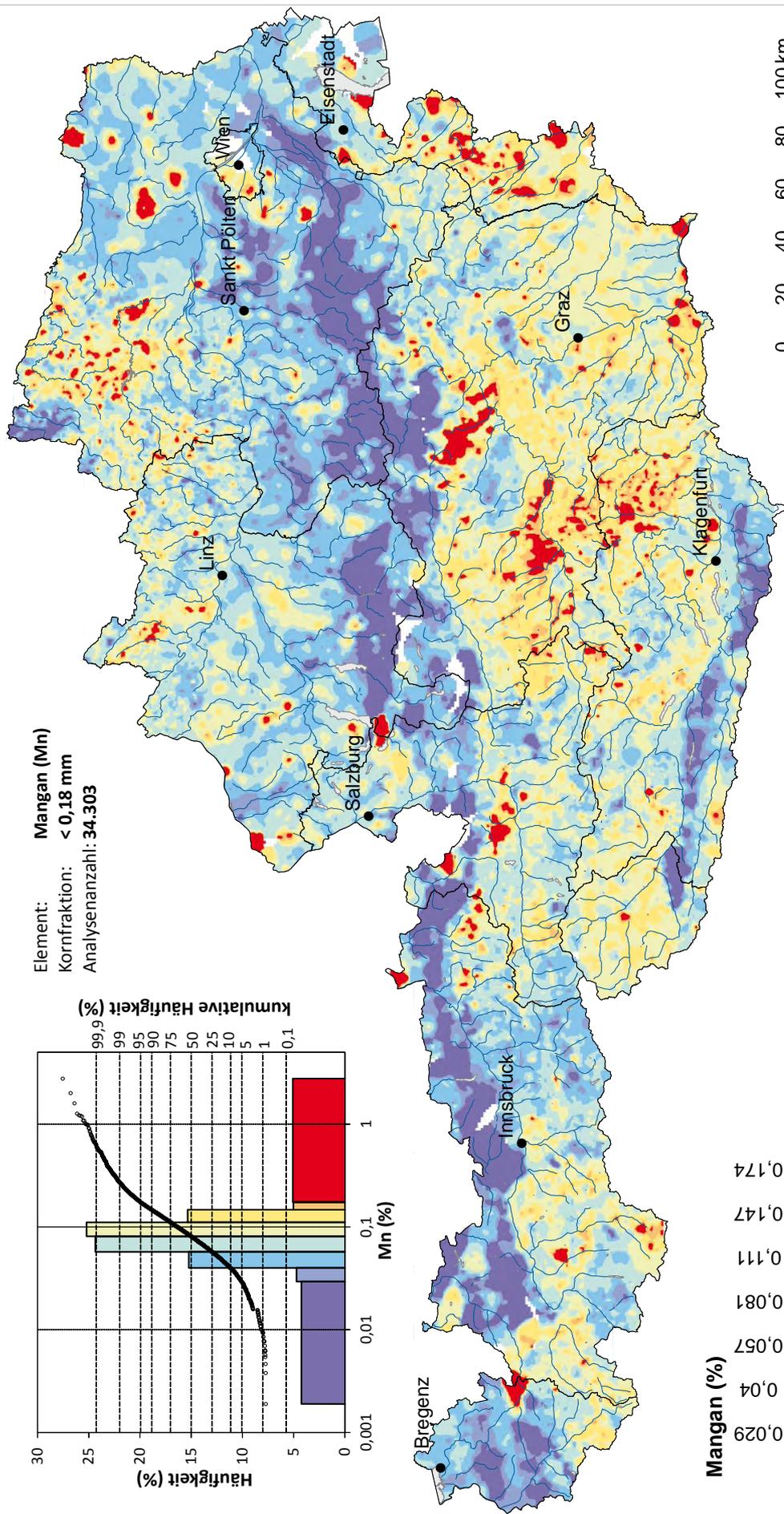
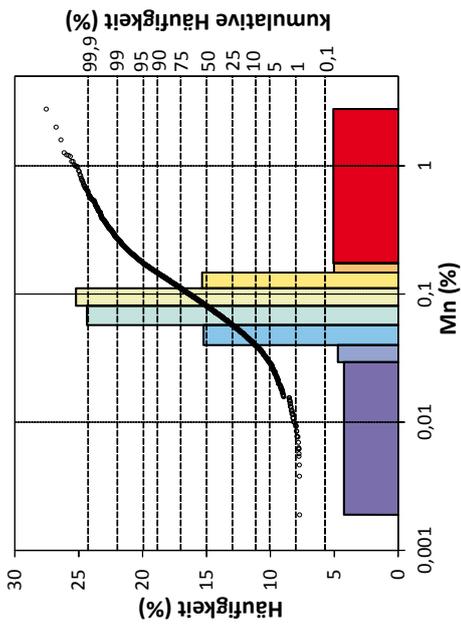


Abb. 87. Manganverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

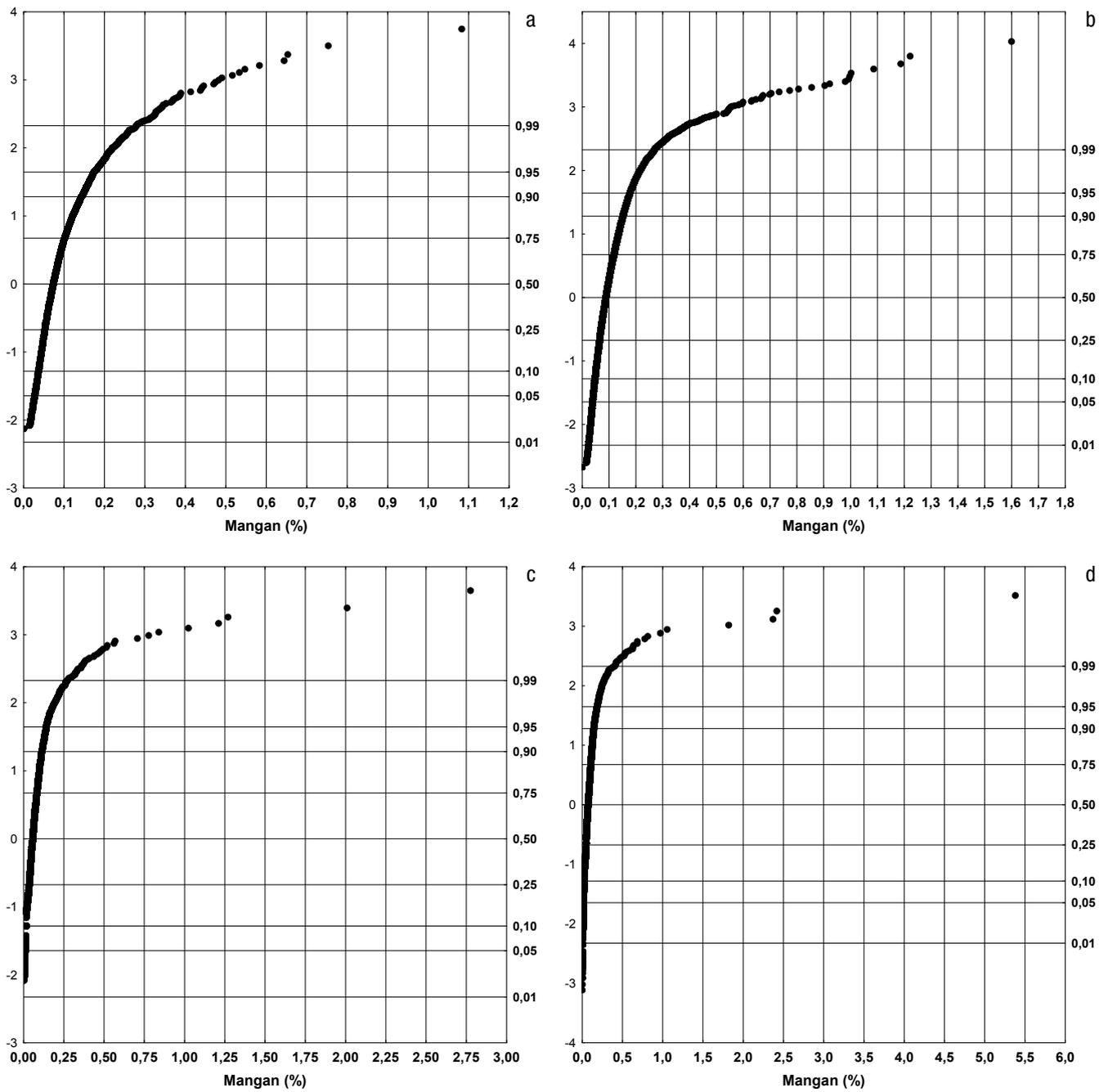


Abb. 88. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Mangan in %; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

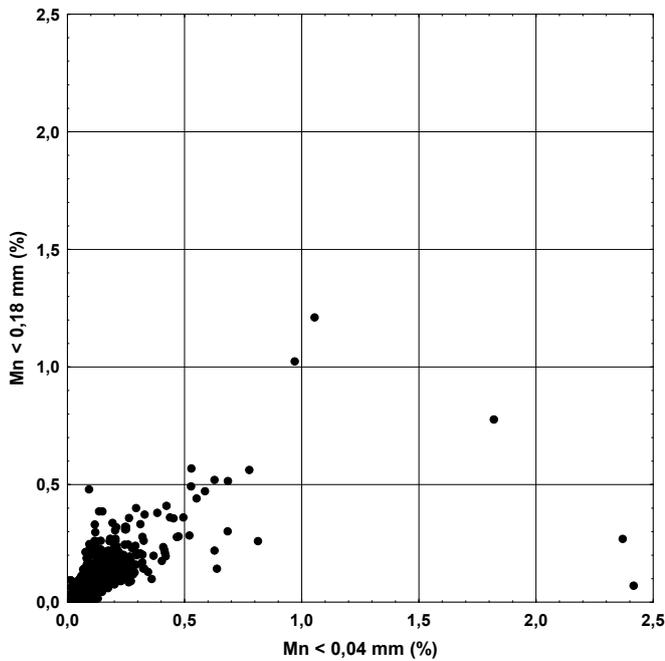


Abb. 89.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Mangan (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Prinzipiell verhält sich Mangan geochemisch im Naturraum sehr ähnlich wie Eisen. So wie bei Eisen erfolgt aus der Verwitterung heraus eine Anreicherung in Böden. Es tritt auch als Nebenelement in Mineralen wie Amphibolen, Pyroxenen und Glimmer auf. Somit sind auch höhere Grundgehalte in basischen Gesteinsserien zu erwarten.

Höhere Mn-Konzentrationen können einen „Hof“ um die großen Sideritmineralisationen (z.B. Raum Eisenerz, Radmer) oder um Eisendolomitvorkommen in der Grauwackenzone bilden.

In den Kalkalpen finden sich lokal an einigen Stellen sehr hohe Mn-Konzentrationen in Bachsedimenten. Diese sind mit Mn-reichen Juraserien verknüpft, in denen sogar Kleinbergbaue auf Mangan angesetzt waren (z.B. Osterhorngruppe, nordwestlich Lofer, nördlich Lech).

Mo – Molybdän (Abb. 90–93)

Geogene Herkunft

Spurenelement mit siderophilen und chalkophilen Eigenschaften; assoziiert mit Wolfram und Rhenium.

Molybdän bildet eine Reihe von Mineralen, darunter Molybdänit MoS_2 , Wulfenit PbMoO_4 , Powellit $\text{Ca}(\text{Mo,W})\text{O}_4$ (Wolframit, Scheelit); Anreicherung in organischer Substanz von Sedimenten weit verbreitet.

Häufigkeit (Mo in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	0,6 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,3 ³
basische Gesteine	1,0 ²
intermediäre Gesteine	0,9 ¹
granitische Gesteine	2,0 ²
Tonschiefer	2,6 ⁵
Sandsteine	0,2 ³
Karbonatgesteine	0,4 ³
Unterböden	0,5 ⁴

Wichtige Molybdänminerale

Molybdänit (60 % Mo), Wulfenit (26 %), Powellit (48 %), Ferrimolybdit (ca. 39 %), Ilsemanit, Chillagit (10,6–14,5 %).

Weitere Molybdänminerale

Achrematit	
Belonesit	
Betpaktallit	
Carcurmolit	
Castaingit	
Colusit	bis 8,8 % Mo
Cousunit	
Iriginit	
Jordisit	
Koechlinit	
Lindgrenit	
Moluranit	
Mourit	
Molybdosodalith	3 % Mo
Paterait	
Seyrigit (Molybdoscheelit)	bis 20,95 % MoO_3
Sedovit	
Eosit	

Molybdän als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Biotit	bis 30
Chalkopyrit	0–1.500
Covellin	bis 50
Feldspäte	bis 40
Galenit	bis 140
Hämatit	bis 60
Ilmenit	bis 500
Magnetit	bis 400
Nosean	100
Platinminerale	bis 60
Pyrrhotin	10–250
Scheelit	bis 60.000
Titanit	bis 350
Wolframit	1.000
Zirkon	bis 110

Technogene Herkunft

Verwendung in Legierungen, Elektroindustrie (Kontakte, Elektroden von Hg-Kontakten, Stützteile von Glühlampen, Anoden von Empfänger- und Senderöhren, Kathoden, Gitter u.a.), Korrosionsschutz, Wärmeaustauschern in der Reaktortechnik, Raumfahrt, Heizelementen und Auskleidungen von Glasschmelzöfen, Schmiermitteln, Pigmenten, Düngern.

Eintrag in die Umwelt durch Bergbau, Metallverhüttung und -verarbeitung (W- und Cu-Produktion), Verbrennung von Erdöl und Kohle, Schmieröle (Molykot), Abwässer, Phosphatdünger.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement für einige Enzyme. Unter den heutigen Umweltbedingungen höher toxisch für Rind und Schaf als für den Menschen. In hohen Dosen ist Molybdän jedoch toxischer als Blei und Quecksilber. Unter oxidierenden Bedingungen höhere Mobilität als unter reduzierenden (Sulfidfällung). Bei saurem pH-Wert stärkere Sorption an Fe-Hydroxide als unter neutralen und basischen Bedingungen.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

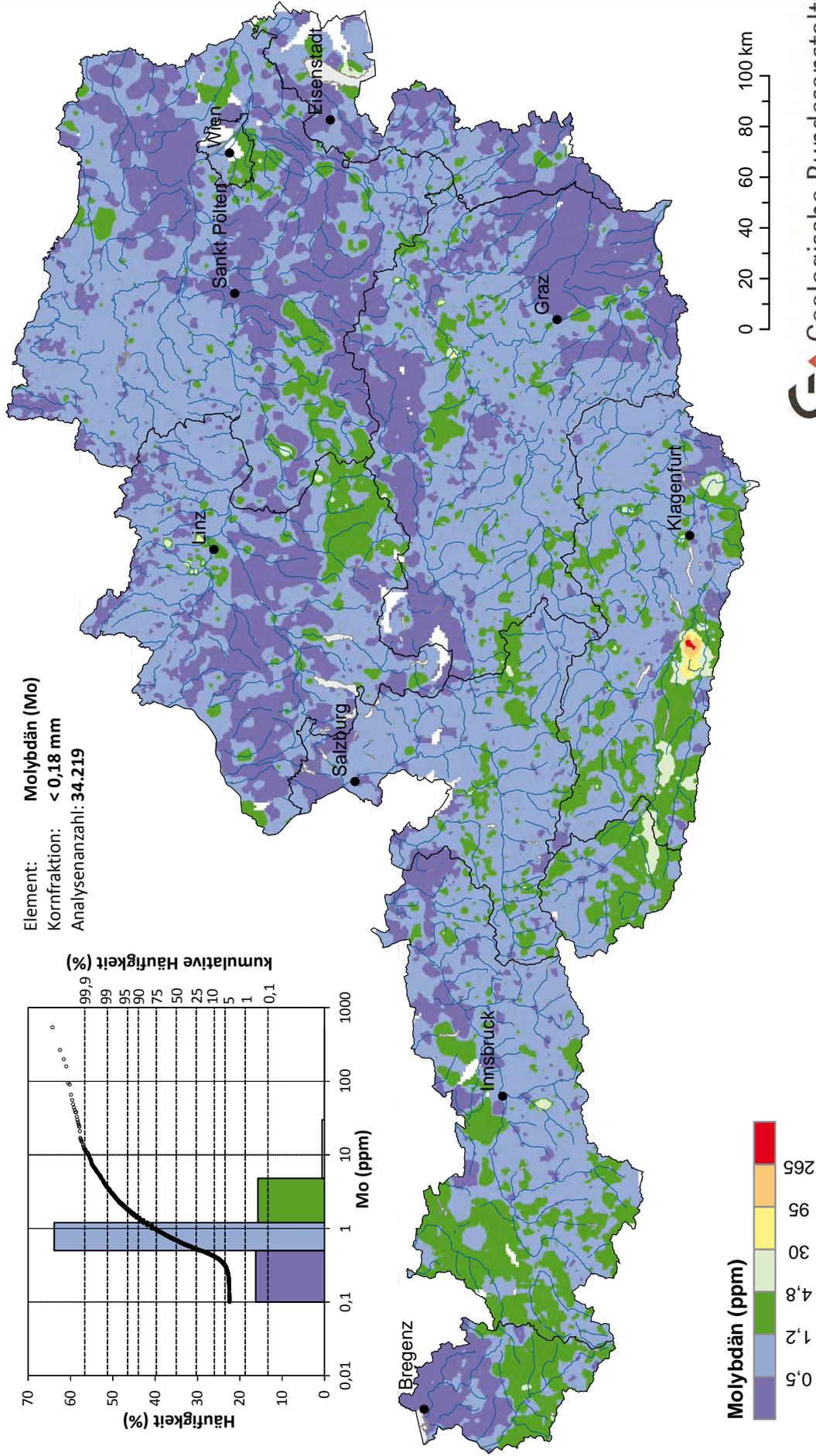
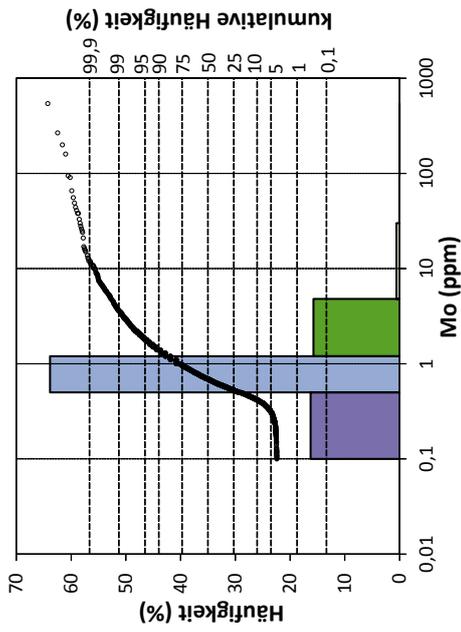


Abb. 90. Molybdänverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

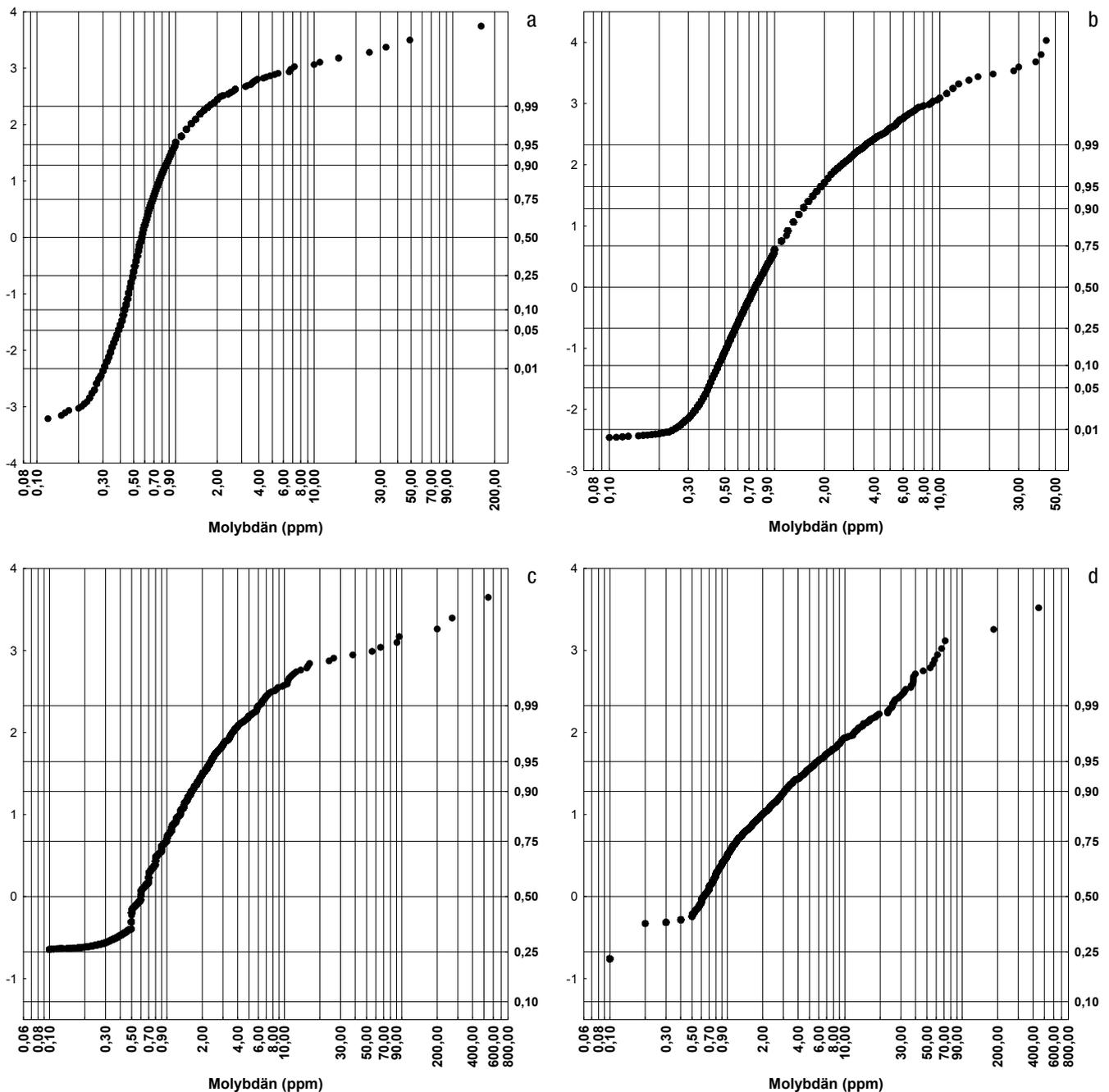


Abb. 91. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Molybdän in ppm; Böhmisches Mass (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Für die räumliche Verteilung von Molybdän in den Bach- und Flusssedimenten lassen sich mehrere Quellen ableiten:

- a. Etwas höhere, geogen bedingte Grundgehalte (bis 5 ppm) in ostalpinen Kristallineinheiten; überwiegend in basischen Gesteinsserien. Nähere Untersuchungen wären notwendig.
- b. Verbreitet etwas höhere, geogen bedingte Grundgehalte in kalkalpinen Serien (bis 5 ppm) – in den Niederösterreichisch-Oberösterreichischen Kalkalpen sowie in den westlichen Tiroler Kalkalpen. Nähere Untersuchungen wären notwendig.

- c. Hohe bis sehr hohe Mo-Konzentrationen im Umfeld von Pb-Zn-Vererzungen im Drauzug. Sehr hohe Grundgehalte in karbonatischen Serien des Drauzugs bis zu den Lienzer Dolomiten und in den Karawanken (bis 30 ppm). Nähere Untersuchungen wären notwendig.
- d. Lokale Mineralisation an der Basis der Kalkkögel bei Fulpmes.
- e. Technogene Quellen (Stahlerzeugung und -verarbeitung) im Müritzal.

Zur Verdeutlichung der Verteilungen an den größeren Flüssen werden in Abbildung 93 die Ergebnisse der Analytik für die Korngrößenfraktion < 0,18 mm in den Bundesländerprojekten separat dargestellt.

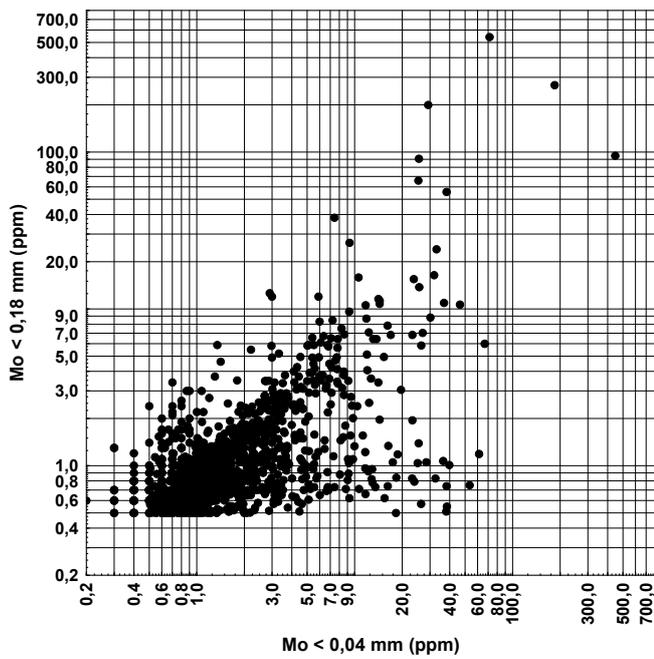


Abb. 92.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Molybdän (Bundesländerprojekte).

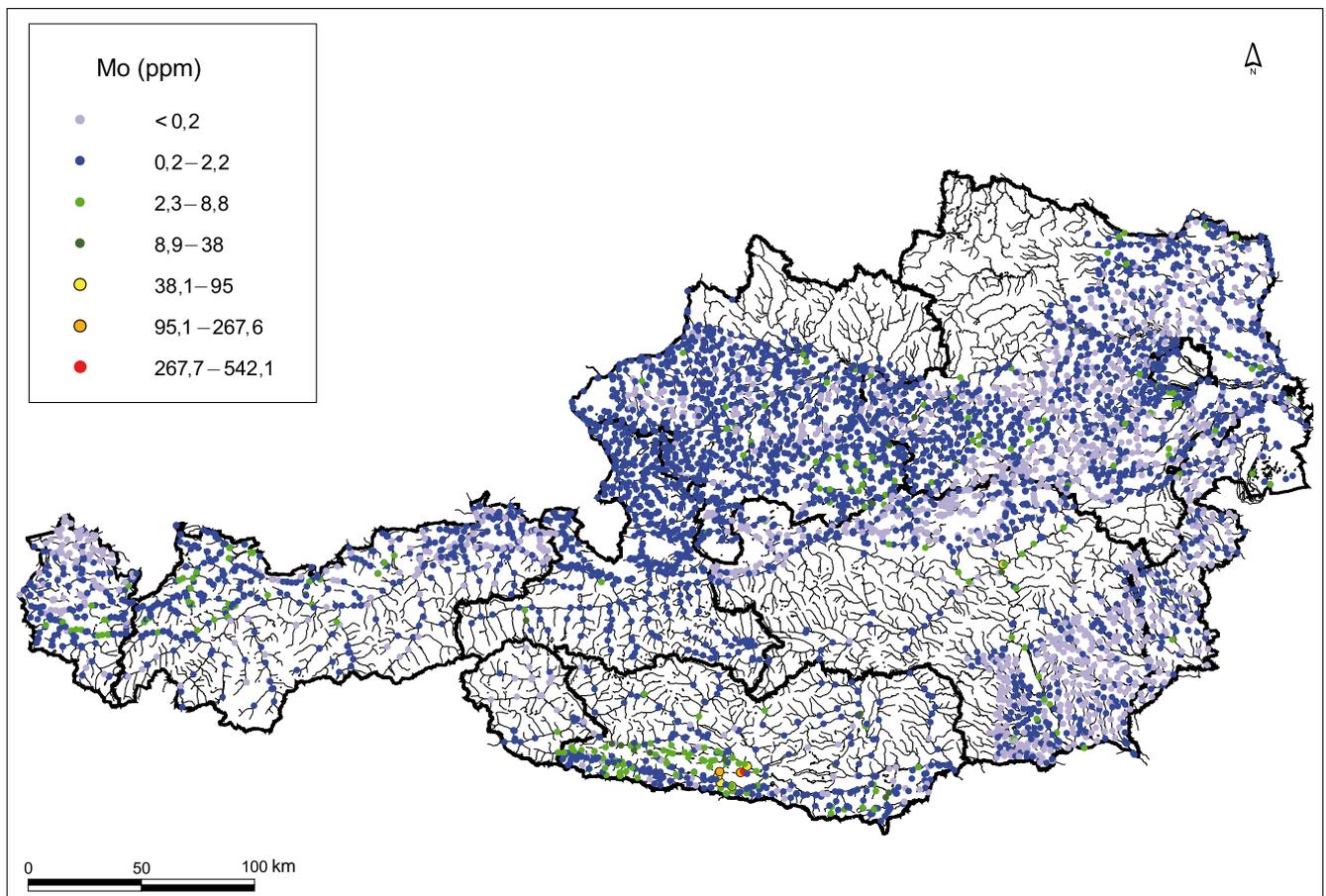


Abb. 93.
Bach- und Flusssedimentgeochemie < 0,18 mm, Bundesländerprojekte; Molybdänverteilung.

Na – Natrium (Abb. 94–96)

Geogene Herkunft

Lithophiles Hauptelement; in Alkaligesteinen, Evaporiten und im Meerwasser angereichert; hohe Affinität zur Bildung von chemischen Verbindungen mit Sauerstoff und Halogenen; Minerale überwiegend in Feldspäten, untergeordnet in Pyroxenen, Amphibolen, Feldspatvertretern; Halit NaCl, Cryolit Na_3AlF_6 , Chilesalpeter NaNO_3 .

Häufigkeit (Na in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	2,4 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,4 ³
basische Gesteine	1,9 ²
intermediäre Gesteine	3,0 ¹
granitische Gesteine	2,8 ²
Tonschiefer	0,6 ⁵
Sandsteine	0,3 ³
Karbonatgesteine	0,04 ³
Unterböden	0,6 ⁴

Wichtige Natriumminerale

Halit (39 % Na), Kryolith (33 %), Natronsalpeter (27 %), Sodalith (19 %), Beryllonit (18 %), Glauberit (17 %), Soda (16 %), Mirabilit (14 %), Natrolith (12 %), Analcim (10 %), Albit (10 %), Amblygonit (3 %), Trona, Borax.

Natrium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Aktinolith	bis 12.000
Allanit	bis 100
Andalusit	1.000
Anglesit	100
Anhydrit	1.000
Anthophyllit	100
Axinit	1.000
Beryll	100
Biotit	X.000
Cordierit	100
Fassait	1.000
Hedenbergit	1.000
Kainit	bis 10.000
Kalifeldspäte	bis 6.900
Perowskit	bis 56.000
Phlogopit	bis 15.000
Serpentin	100
Spodumen	1.000
Vesuvian	1.000
Wollastonit	100

Technogene Herkunft

Verwendung als Speise- und Industriesalz, in Wasch- und Bleichmitteln, Soda, in der Glasproduktion, chemischen Industrie, Natriumamid zur Indigosynthese, Natriumcyanid zur Goldgewinnung, als Reduktionsmittel, Katalyse, IR- und UV-Optik, Wärmeaustauscher, ²⁴Na für Radiotherapie u.a.

Technogene Verbreitung in der Umwelt vor allem durch Winterstreuung, Düngung, Mülldeponien.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement für alle Tiere, nicht aber für alle Pflanzen. Katalytische Eigenschaften, aktiviert Enzyme; Hauptbestand des Blutplasmas. Nur bei sehr hohen Konzentrationen toxisch für Pflanzen und Tiere. Sehr mobil unter allen Redox- und pH-Bedingungen. Auf Grund der hohen Löslichkeit liegt Natrium in den Bachsedimenten hauptsächlich in den Feldspäten gebunden vor. Steinsalzlagerstätten hingegen sind in den Sedimenten kaum markiert. Natrium wird am Sorptionskomplex der Unterböden (vor allem Tonmineralen) stark gebunden und kann dabei Kalzium verdrängen (Dispergierung von Bodenpartikeln und Strukturverlust von Unterböden).

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

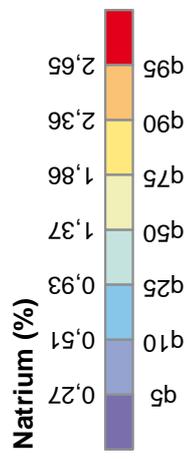
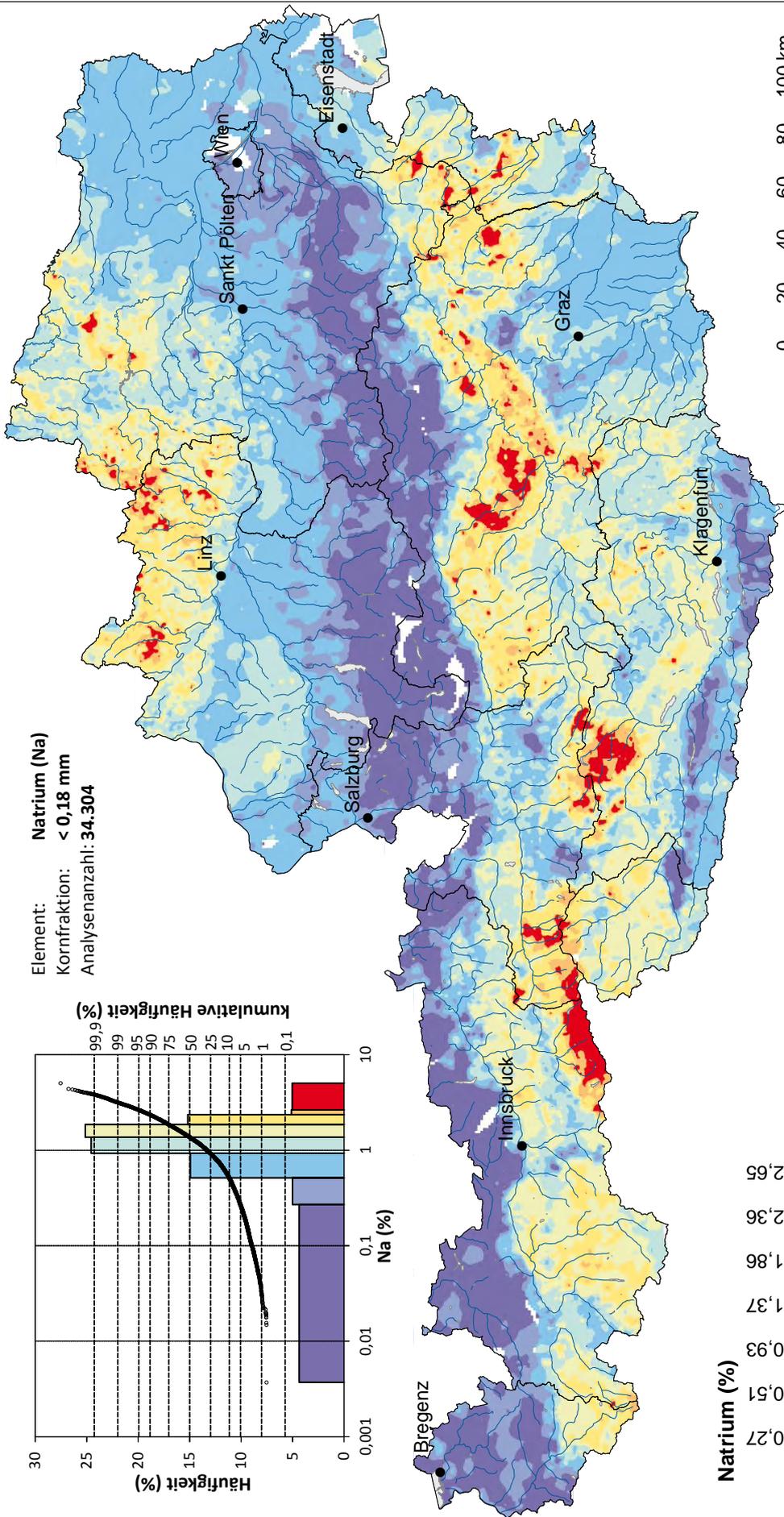
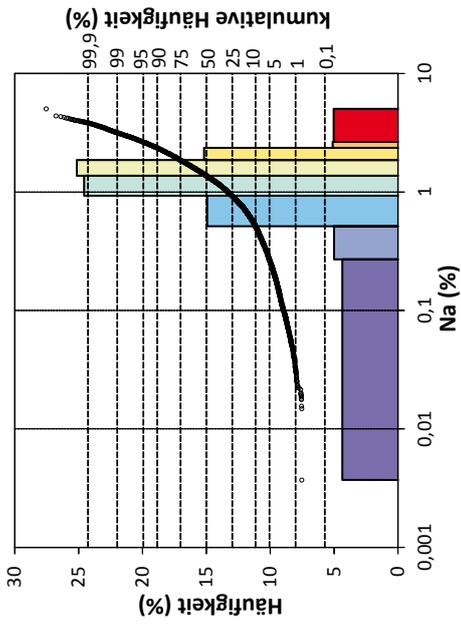


Abb. 94. Natriumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

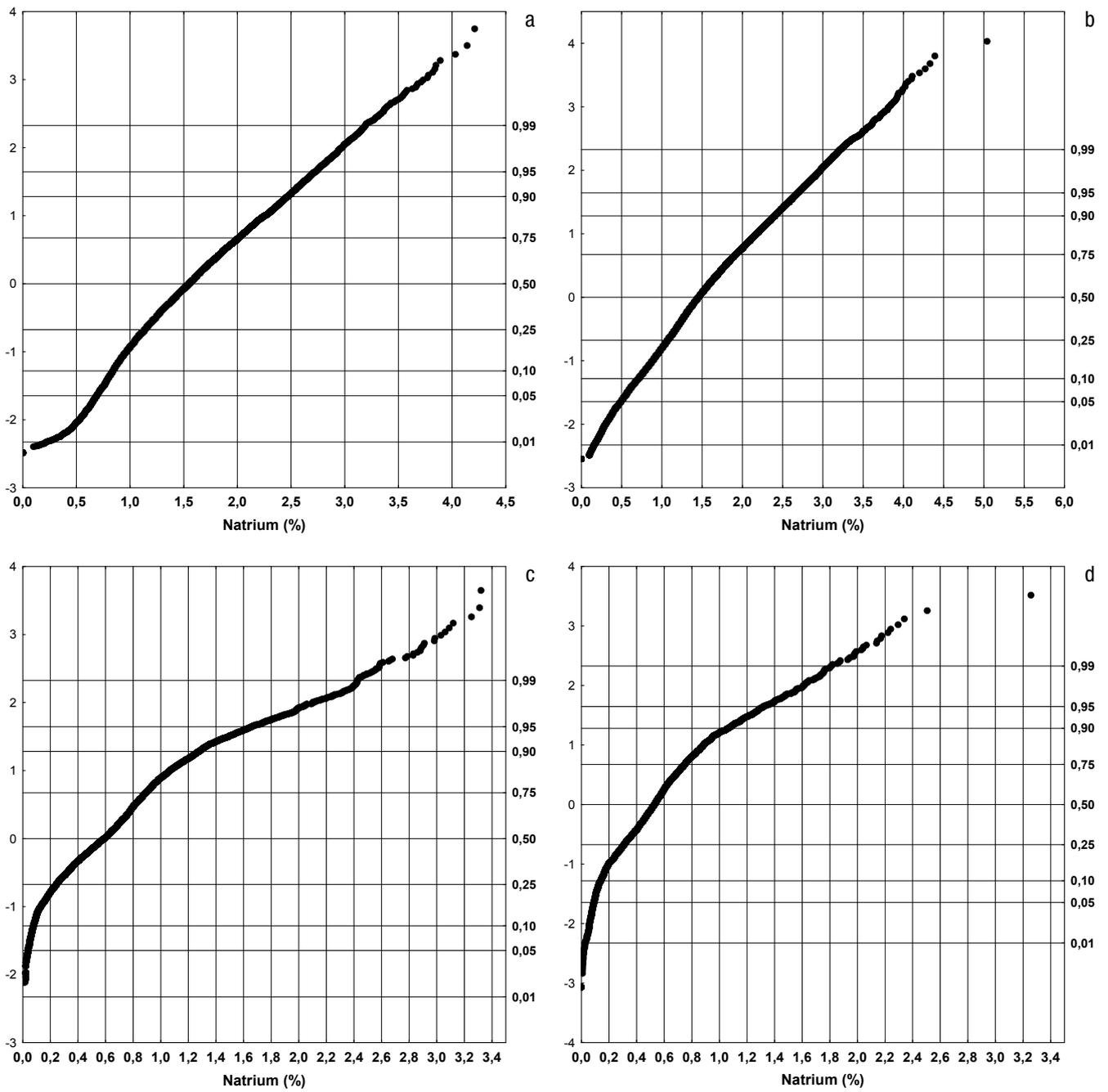


Abb. 95. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Natrium in %; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

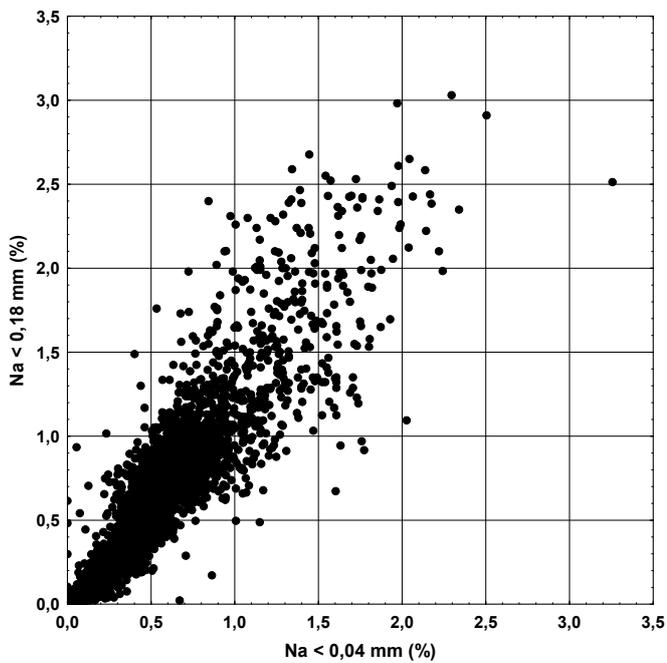


Abb. 96.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Natrium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Natrium ist bei den gesteinsbildenden Mineralen überwiegend an Feldspäten (Kali-Natron-Feldspäte, Plagioklase) gebunden. Deshalb stellt die räumliche Verteilung in den Bach- und Flusssedimenten praktisch gleichzeitig die Feldspatverteilung (Albit/Mikroklin) in den Kris-

tallinserien dar. Hohe Konzentrationen von Natrium sind verknüpft mit Graniten, Granitoiden, entsprechenden Migmatiten und Orthogneisen.

In den quartären und neogenen Lockersedimenten hängt die jeweilige Na-Konzentration ebenfalls von den Feldspatgehalten ab.

Nb – Niob (Abb. 97–100)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; assoziiert mit Titan, Tantal, Zirkonium, Hafnium, Lanthan, Cer, Zinn, Yttrium, Uran, Wolfram, Thorium und Phosphor. Niob bildet eine Reihe seltener, aber wirtschaftlich bedeutender Minerale wie beispielsweise Columbit-Tantalit $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6$, Pyrochlore $(\text{Na,Ca})_2(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6(\text{OH,F})$ und Stibiocolumbit $\text{Sb}(\text{Nb,Ta})\text{O}_4$; als Spuren- und Nebenelement in Schwermineralen wie Rutil, Ilmenit und Zirkon sowie in Biotit.

Häufigkeit (Nb in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	11,6 ⁶
ultrabasische Gesteine	16 ³
basische Gesteine	20 ²
intermediäre Gesteine	20 ¹
granitische Gesteine	0 ²
Tonschiefer	11 ⁵
Sandsteine	0,05 ³
Karbonatgesteine	0,3 ³
Unterböden	10 ⁴

Wichtige Niobminerale

Pyrochlor (23–53 % Nb), Mikrolith (2–5 %), Columbit (24 %), Fergusonit (29 %), Tantalit (2 %), Perowskit (bis 18 %), Rutil (bis 21,7 % Nb_2O_5), Stibiocolumbit (10 % Nb_2O_5).

Weitere Niobminerale

Aeschynit	Dysanalyt
Euxenit	Fersmit
Formanit	Ilimaussit
Joaquinit	Karnasurtit
Loparit	Polycras
Polymignit	Priorit
Samarskit	Scheteligit
Tundrit	

Oben genannte Mineralien führen bis etwa 35 % Seltene Erden (SEE_2O_3).

Niob als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Amphibole	100
Biotit	200
Brookit	1
Epidot	X0
Muskovit	100
Pyroxene	20
Scheelit	1.000
Simpsonit	bis 3.300
Titanit	1.000
Wolframit	bis 16.000

Technogene Herkunft

Verwendung für Sonderlegierungen (Titan, Aluminium), Dauermagnet-Legierungen, als Gettermaterial, Hülmmaterial für Reaktor-Brennelemente, mit Wolfram und Hafnium für thermisch hochbeanspruchte Teile von Raketen, Gasturbinen, Gleichrichter, für Thermolemente, Kondensatoren, Medizintechnik, optische Industrie etc. Geogene Quellen dominant im Vergleich zu technogener Verbreitung; Hauptquellen: Stahlproduktion, Kernbrennstofftechnik, Schweißtechnik.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement. Intravenös mäßig toxisch für Säugetiere.

Mobilität in der Umwelt unter allen Bedingungen sehr gering; vorwiegende Bindung an Schwerminerale.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

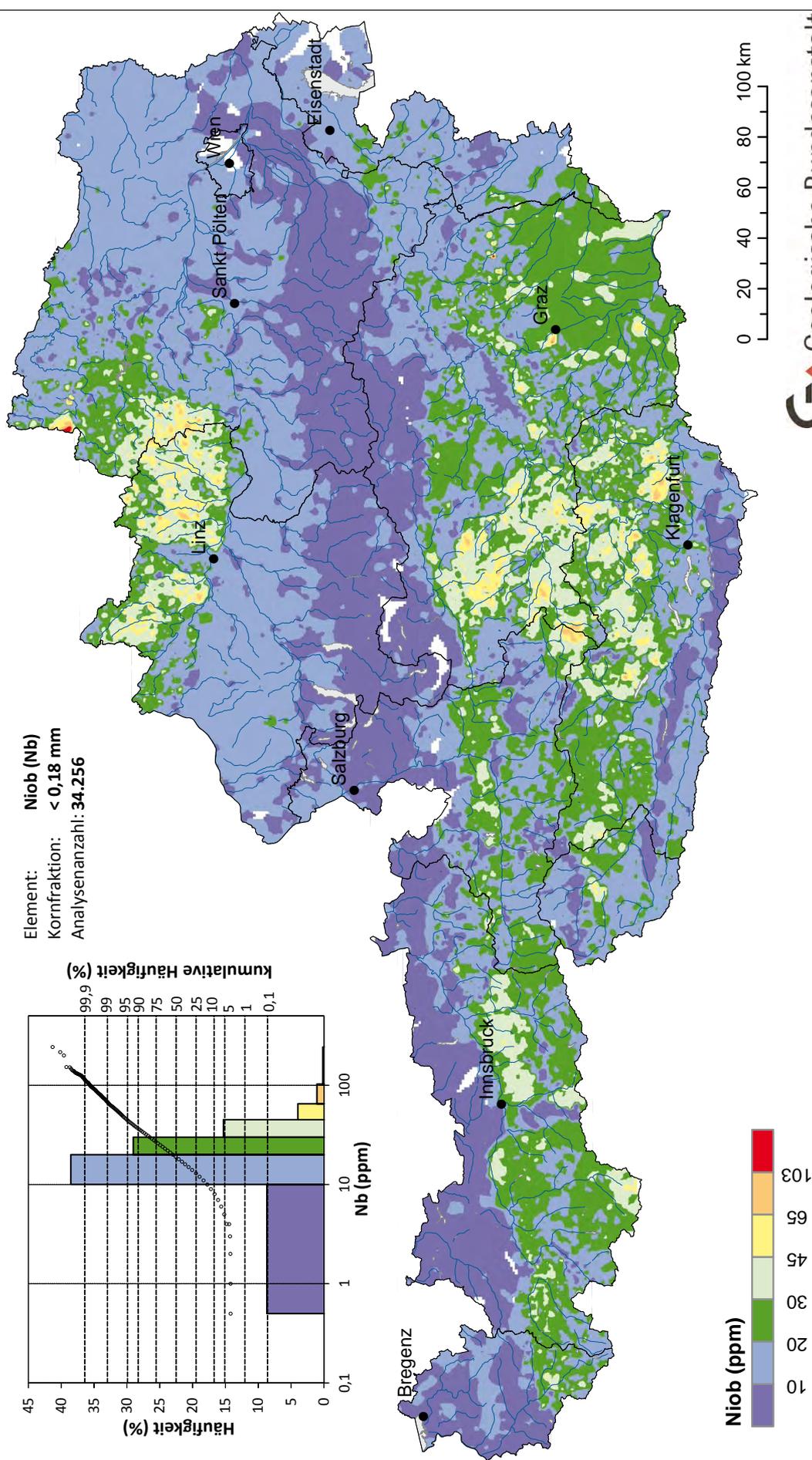
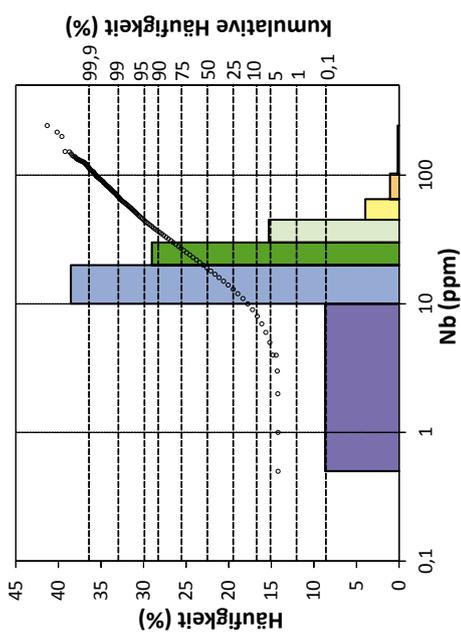


Abb. 97. Niobverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

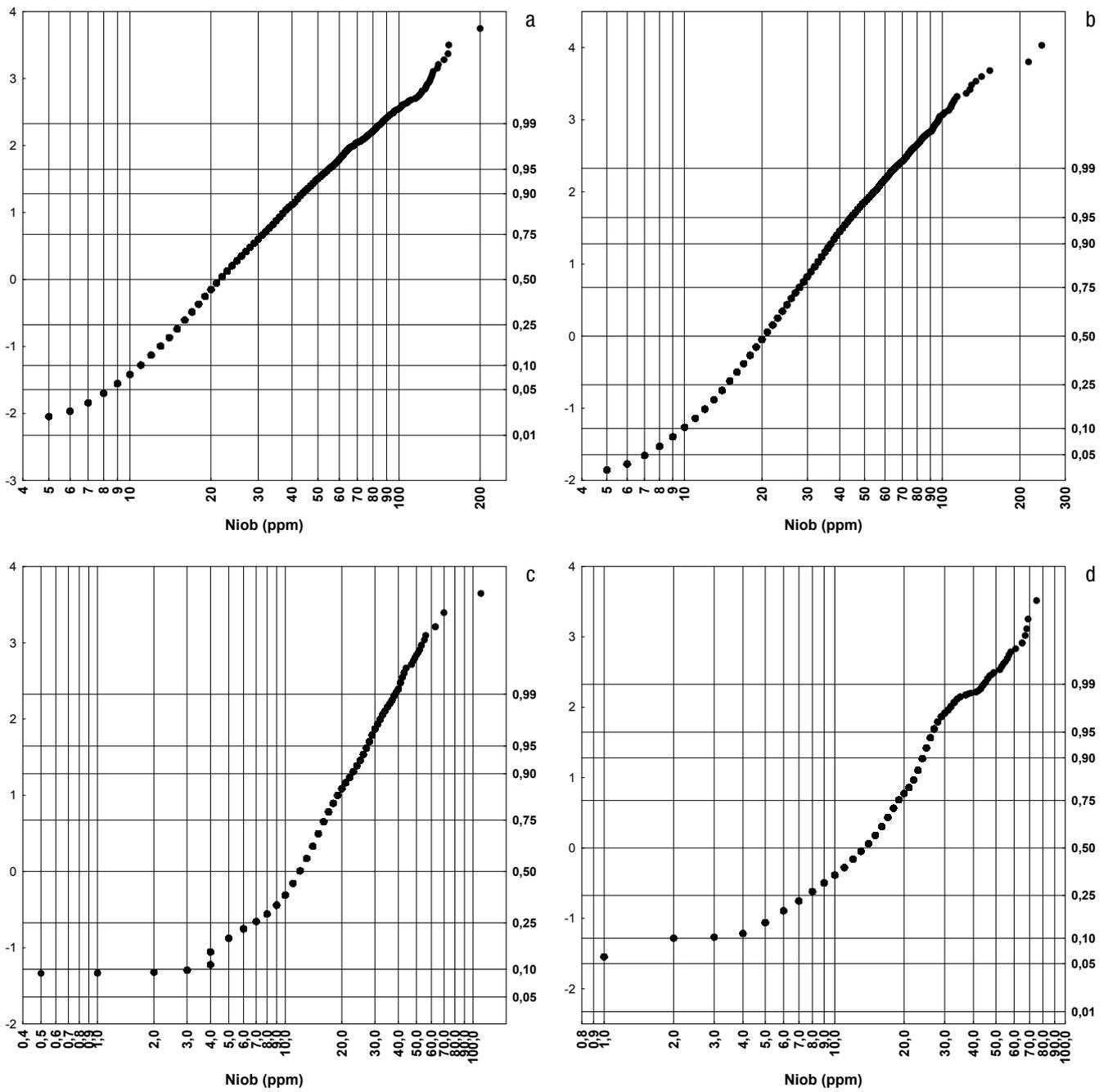


Abb. 98. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Niob in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

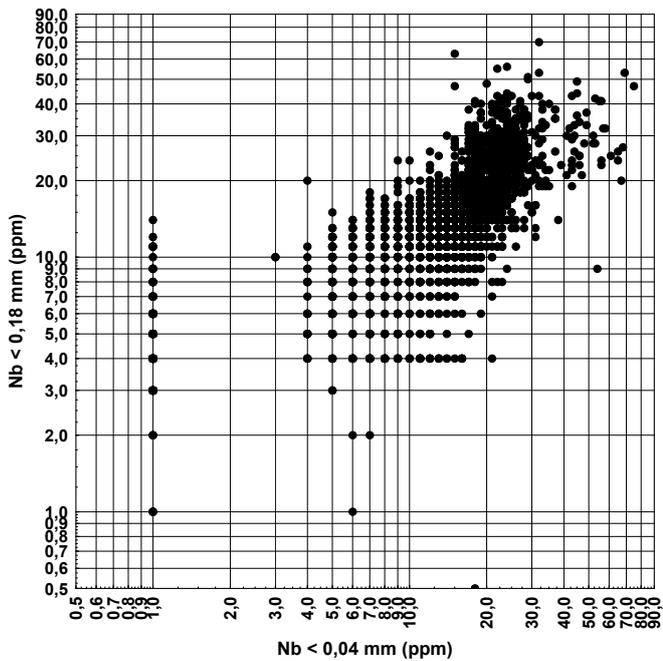


Abb. 99. Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Niob (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Wie bei Cer und Lanthan wird die räumliche Verteilung von Niob über die Schwermineralführung in den Bach- und Flusssedimenten kontrolliert. Träger von Niob sind dabei in der Hauptsache Rutil und Ilmenit. In der Gesamtübersicht dominieren die hohen Konzentrationen in den kristallinen Serien der Böhmisches Masse und der Zentralzone. Eine Reihe von Gesteinsserien in den ostalpinen Kristallineinheiten weisen höhere Grundgehalte bis etwa 45 ppm auf. In Karbonatgebieten liegen die Grundgehalte durchwegs bei <math>< 10 \text{ ppm}</math>. In Flysch, Molassezone und Neogenbecken hängen die durchschnittlichen Grundgehalte von den ehemaligen Liefergebieten ab.

Eine Darstellung der räumlichen Verteilung von Niob in der Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math> nach den Bundesländerprojekten erlaubt eine bessere Differenzierung auch der niedrigeren Konzentrationen (Abb. 100).

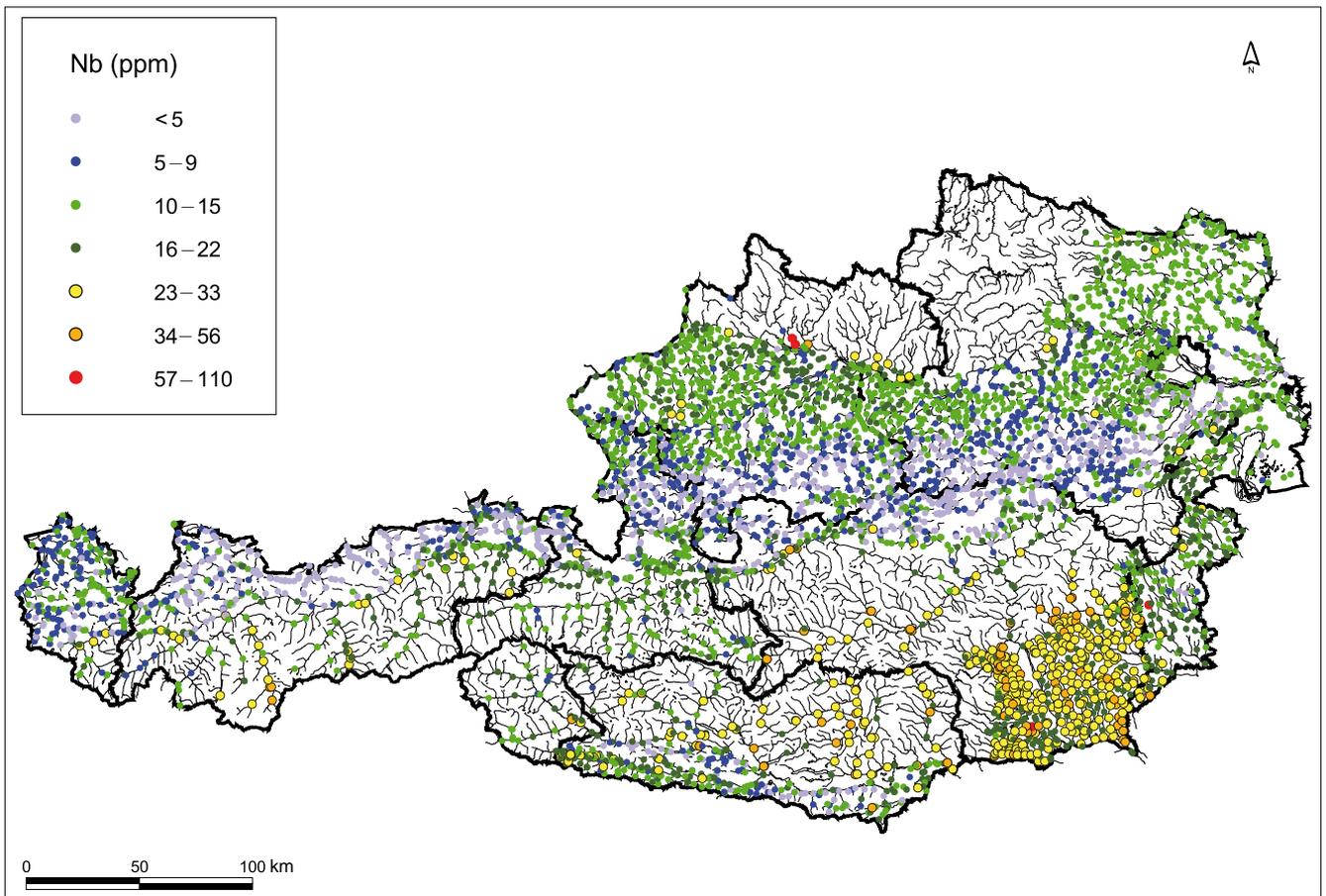


Abb. 100. Bach- und Flusssedimentgeochemie <math>< 0,18 \text{ mm}</math>, Bundesländerprojekte; Niobverteilung.

Ni – Nickel (Abb. 101–103)

Geogene Herkunft

Spurenelement der Eisengruppe mit siderophilen, chalkophilen und lithophilen Eigenschaften; in SiO₂-armen Magmen mit Magnesium, Eisen, Cobalt, Chrom und Vanadium assoziiert; Lithologisches Indikatorelement ähnlich Chrom.

Minerale Sulfide wie Pentlandit (Fe,Ni)₈S₉, Arsenide wie Nickelin NiAs, Sulfoarsenide wie Gersdorffit NiAsS, Antimonide und Sulfoantimonide, Garnierit (Nickelchrysotil); Spuren- bis Nebenelement in Fe-Mg-Silikaten wie Olivin, Pyroxene, Amphibol; in Pyrit, Glimmer.

Häufigkeit (Ni in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	34 ⁶
ultrabasische Gesteine	2.000 ³
basische Gesteine	150 ²
intermediäre Gesteine	55 ¹
granitische Gesteine	0,5 ²
Tonschiefer	50 ⁵
Sandsteine	2 ³
Karbonatgesteine	20 ³
Unterböden	22 ⁴

Wichtige Nickelminerale

Pentlandit (10–40 % Ni), Nickelin (44 %), Chloanthit (28 %), Garnierit (3–36 %), Millerit (56 %), Zaratit (47 %), Gersdorffit (35 %), Breithauptit (33 %), Rammelsbergit (28 %), Ullmannit (28 %), Bravoit (ca. 20 %), Heazlewoodit (73,5 %), Schuchardit (bis 30 %), Annabergit (29,4 %).

Nickel als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm) ^{8, 9}

Aktinolith	100
Arsen (gediegen)	100
Arsenopyrit	bis 3.000
Augit	100
Chalkopyrit	bis 2.000
Chromit	bis 1.000
Cobaltin	bis 30.000
Diopsid	1.000
Enstatit	100
Erythrin	1.000
Galenit	bis 100
Klinochlor	1.000
Linneit	100
Löllingit	bis 5.000
Olivin	1.000
Pennin	1.000
Platin	100
Pyrit	bis 25.000
Pyroxene	100
Pyrrhotin	bis 74.000
Serpentin	bis 97.000
Skutterudit	bis 94.000
Sphalerit	bis 300
Thuringit	100

Technogene Herkunft

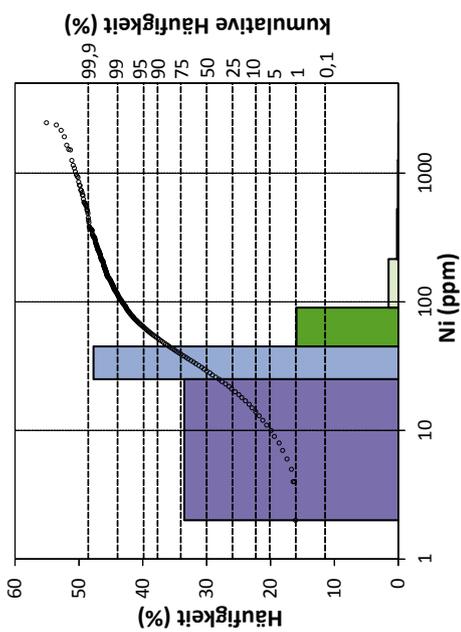
Verwendung in der Stahlerzeugung, verschiedenen Legierungen, bei der Oberflächenvergütung anderer Metalle, in Batterien, Pigmenten, als Katalysator; Umweltdispersion durch Cu-Ni-Verhüttung, Stäube und Schlacken aus der Stahlproduktion, Abfälle, Müllverbrennung, Klärschlamm, Dünger.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement für einige Organismen, besitzt aber eine relativ starke phytotoxische Wirkung; Zweiwertiges Nickel nur mäßig toxisch, andere Verbindungen hochtoxisch. Nickel kann Allergien auslösen. Unter sauren Bedingungen (pH-Wert < 6,5) ist Nickel mobil. Unter neutralen bis basischen Bedingungen immobil. Im oxidierenden Milieu höhere Mobilität als im reduzierenden Milieu (Fällung als Sulfid); Sorption an Fe-Hydroxiden und Humusstoffen; in Bachsedimenten vorwiegend an die Feinfraktion gebunden.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Nickel (Ni)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.304

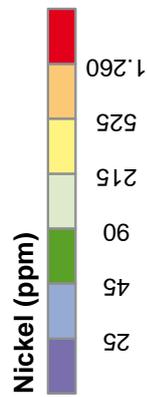
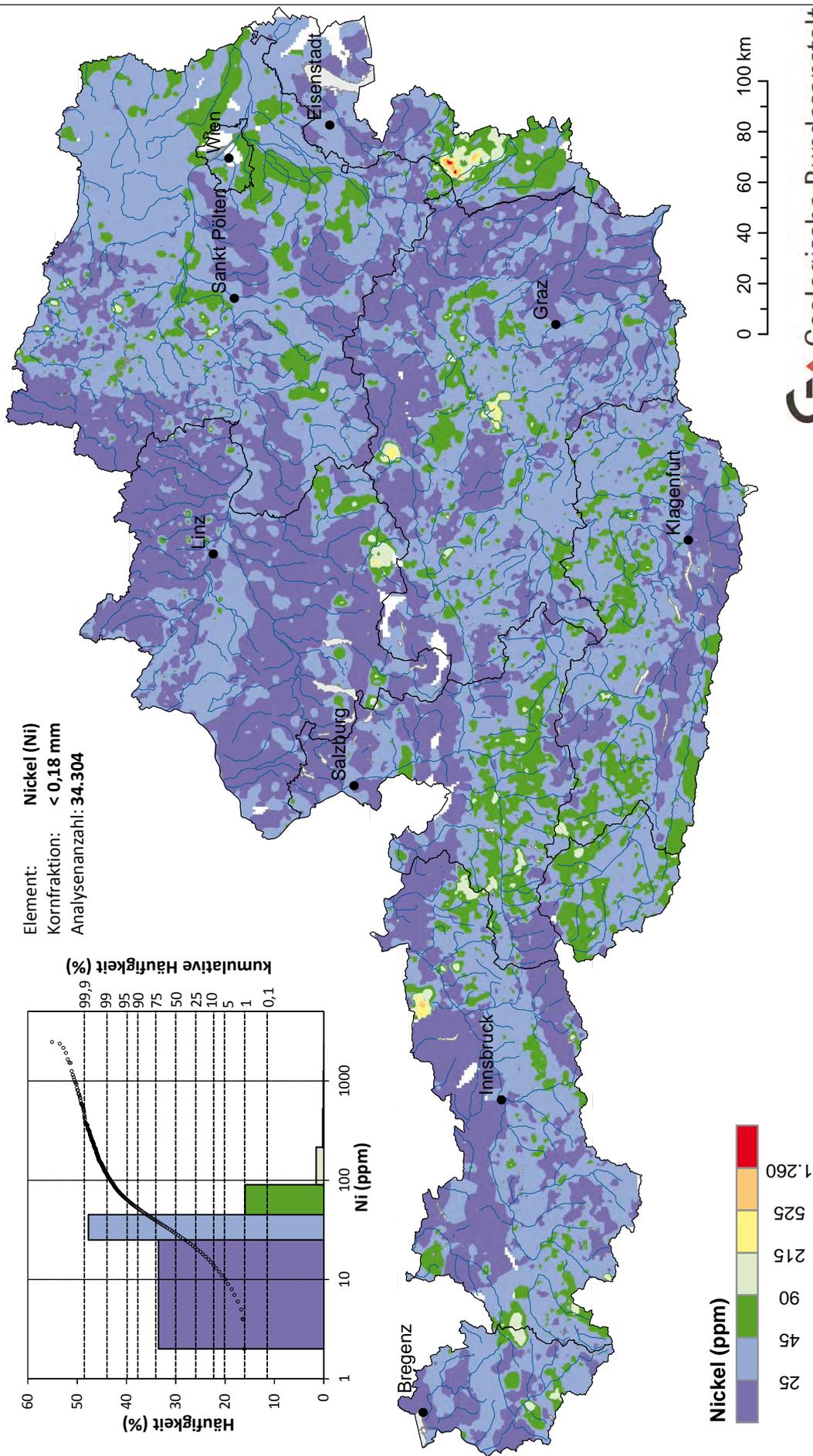


Abb. 101. Nickelverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

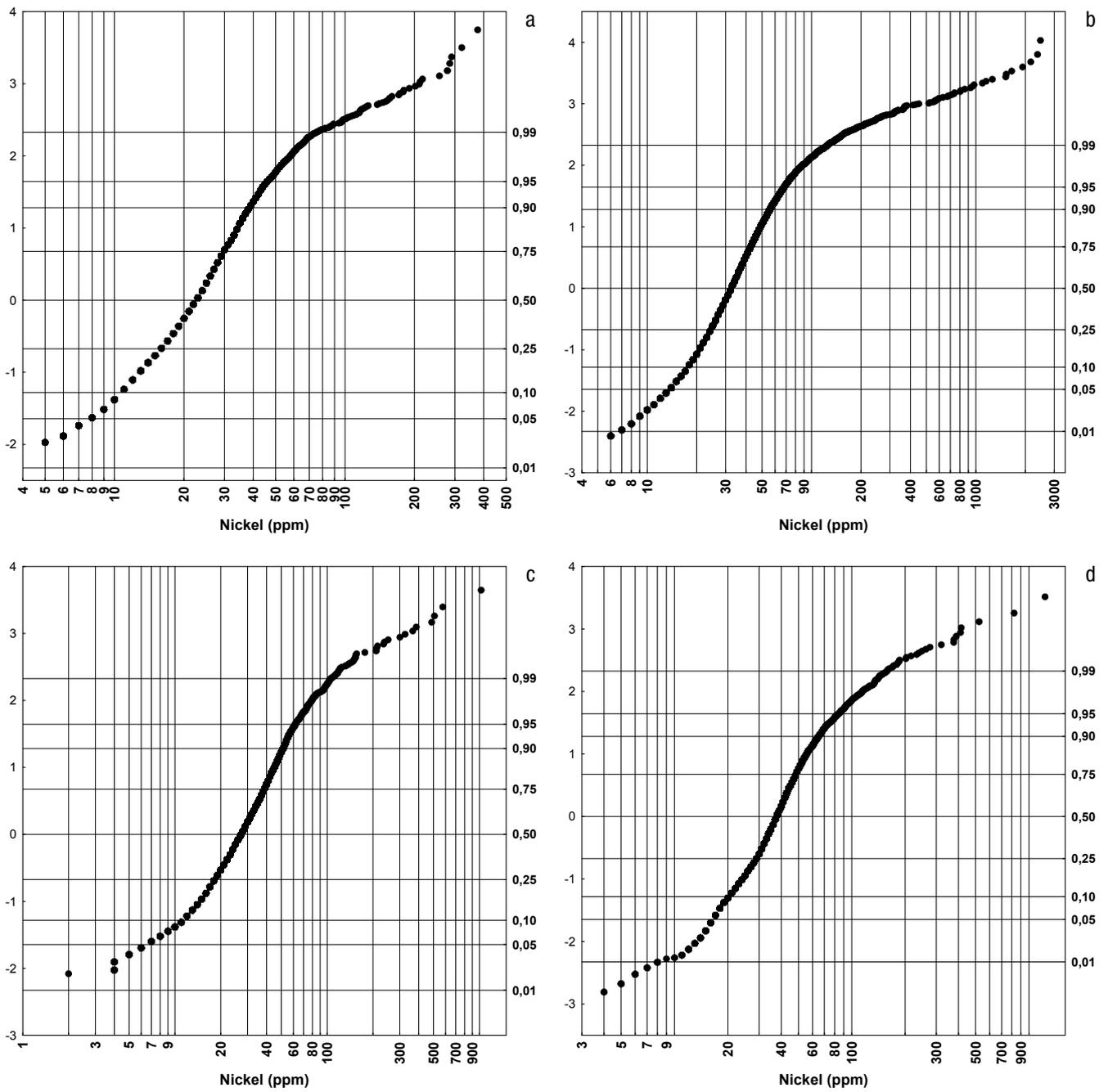


Abb. 102. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Nickel in ppm; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

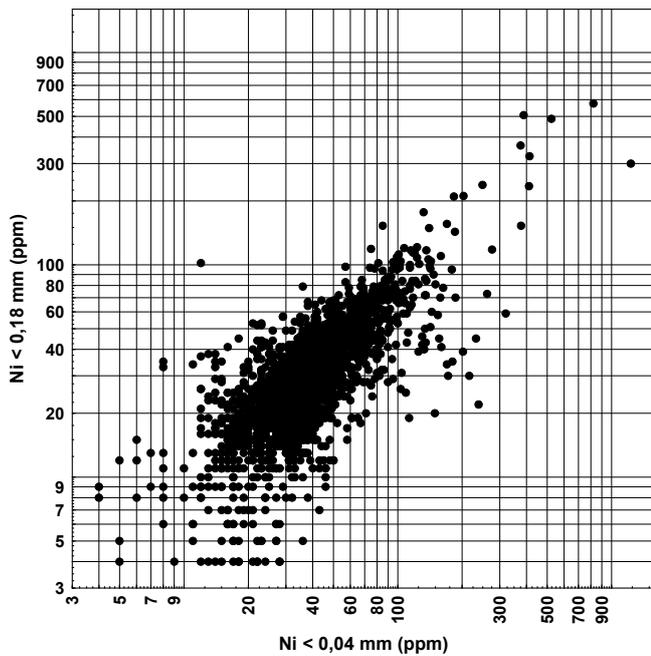


Abb. 103.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Nickel (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die räumliche Verteilung von Nickel in den Bach- und Flusssedimenten ist direkt vergleichbar mit der von Chrom und korreliert eng mit der Verbreitung von basischen und ultrabasischen Gesteinsserien. Besonders deutlich wird das an den eher kleinräumigen Vorkommen von Serpentiniten, die durch sehr hohe Ni-Konzentrationen markiert werden, wie beispielsweise in Rechnitz/Burgenland, Preg-Kraubath, westlich Trieben oder nördlich Heiligenblut. Basische Gesteinsserien wirken sich durch größer-

flächige, relativ einheitliche Ni-Konzentrationsverteilungen zwischen ca. 50 und 200 ppm aus.

Auffällig sind lokale Bereiche mit sehr hohen Ni-Konzentrationen ($>$ bis $\gg 250 \text{ ppm}$) in den Nördlichen Kalkalpen. Diese kleinräumigen „Anomalien“ sind mit Vorkommen von Kreidesedimenten (Gosau-Formation) verknüpft. Der entsprechende Nickelgehalt ist auf die Chromitführung in diesen Sedimentserien zurückzuführen. Wahrscheinlich erfolgt noch eine zusätzliche lokale Anreicherung durch die Transportprozesse in den Bächen.

P – Phosphor (Abb. 104–106)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement mit starker Tendenz zur Bindung an akzessorische Minerale. Assoziiert mit Niob und Seltene Erden in Alkaligesteinen und deren Pegmatiten sowie in sedimentärer Form in Phosphoriten. Phosphor tritt in der Natur fast ausschließlich in Orthophosphaten wie Apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$, Monazit $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}, \text{Sm})(\text{PO}_4, \text{SiO}_4)$ und Xenotim YPO_4 auf; als Spuren- und Nebenelement in Amphibolen, Olivin, Pyroxenen, Glimmer und Feldspäten.

Häufigkeit (P in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	654 ⁶
ultrabasische Gesteine	220 ³
basische Gesteine	1.400 ²
intermediäre Gesteine	1.600 ¹
granitische Gesteine	700 ²
Tonschiefer	700 ⁵
Sandsteine	170 ³
Karbonatgesteine	400 ³
Unterböden	419 ⁴

Wichtige Phosphormineralerale

Beryllonit (24 % P_2O_5), Amblygonit (21 %), Triphylit (20 %), Apatit (18 %), Xenotim (17 %), Triplit (14 %), Monazit (14 %), Pyromorphit (7 %), Torbernit (7 %), Autunit (7 %), Guano (wasserhaltige Ca-Phosphate mit ca. 30 % P_2O_5).

Phosphor als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Amphibole	100
Chrysokoll	bis 35.000
Feldspäte	10
Olivin	100
Plagioklase	10
Pyroxene	10
Thorit	10
Thuringit	bis 12.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Düngemitteln, Waschmitteln, in der chemischen Industrie, Pestiziden, Zündstoffen, Halbleitern, als Legierungszusatz, ³²Phosphor als Radioindikator. Technogene Verbreitung in der Umwelt hauptsächlich durch Abwasser und Dünger-Anwendung in der Landwirtschaft.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement, gemeinsam mit Natrium und Kalium wichtigster Pflanzennährstoff; löslicher Phosphor meist begrenzender Faktor der Gewässereutrophierung; toxische Wirkung nur bei sehr hohen Dosen. Phosphor gebunden in der Schwermineralfraktion kaum mobil; in anderen Verbindungen mäßige Mobilität, begrenzt durch die Wasserlöslichkeit der Phosphate; Fällung mit Kalzium, Blei u.a.; unter sauren Bedingungen stärkere Adsorption an Fe-Hydroxide. In den Sedimenten ist es meist an die Schwermineralfraktion oder an die organische Substanz gebunden.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

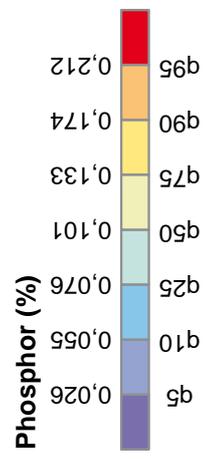
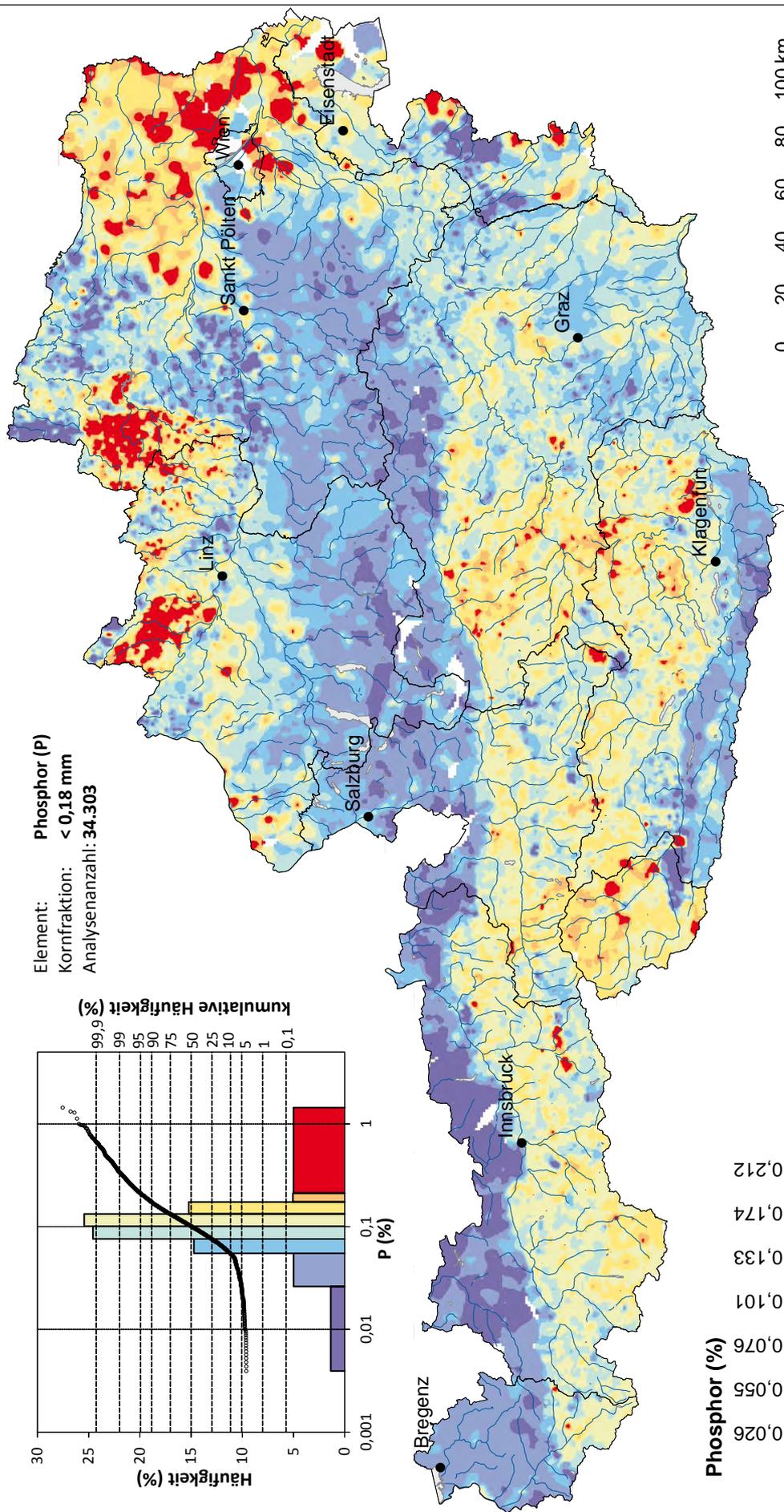
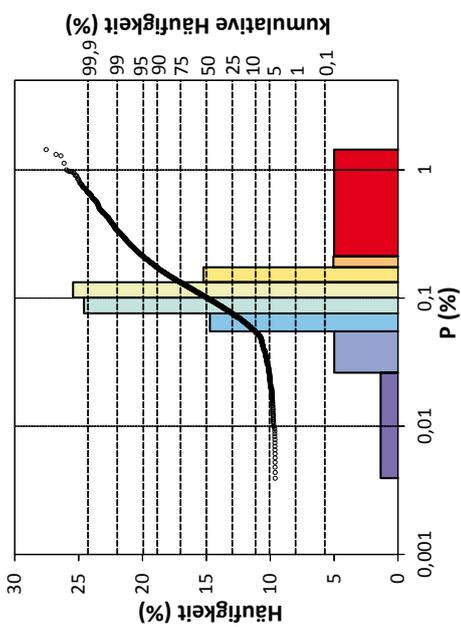


Abb. 104. Phosphorverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

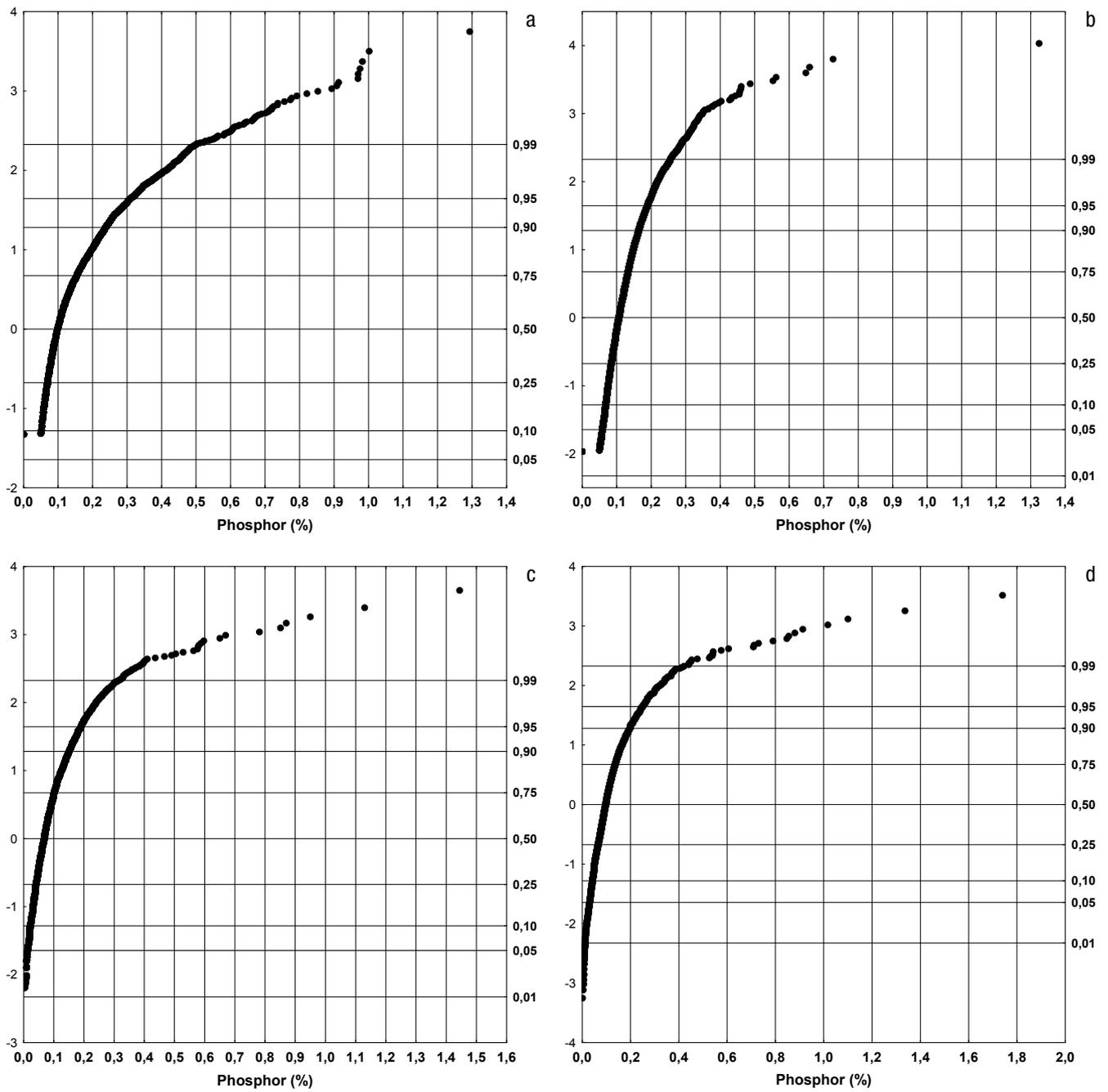


Abb. 105. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Phosphor in %; Böhmisches Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

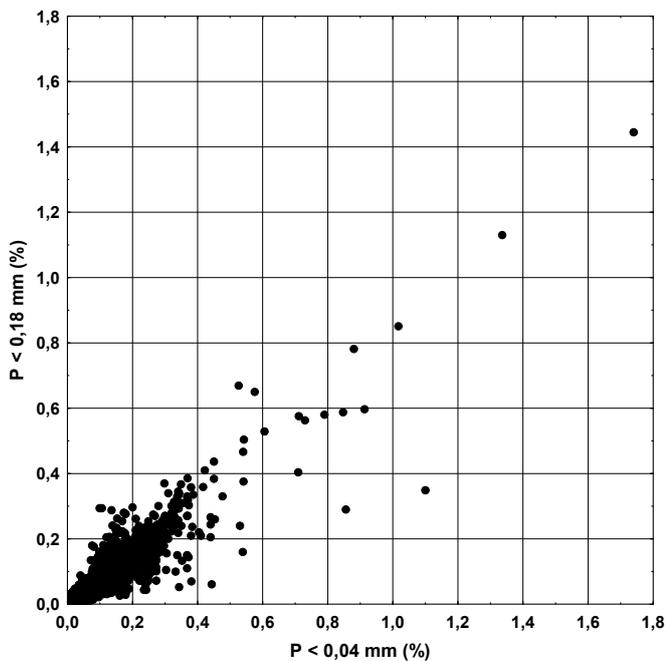


Abb. 106.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Phosphor (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Innerhalb der Kristallinserien ist die räumliche Verteilung von Phosphor in den Bach- und Flusssedimenten einerseits auf P-führende Schwerminerale wie Apatit, Monazit und Xenotim zurückzuführen, andererseits auf Phosphor als Spuren- und Nebenbestandteil in gesteinsbildenden Mineralen wie Amphibolen, Pyroxenen, Glimmer und Feldspäten. Auf Grund der spezifischen Verwitterungsbedingungen und Transportprozesse in der Böhmisches Masse

kommt es zu starker kleinregionaler Anreicherung in der Böhmisches Masse. Innerhalb der ostalpinen Kristallineinheiten und des Subpenninikums wäre eine weitere Differenzierung mit Hilfe von gesteinsgeochemischen Daten notwendig.

Höhere P-Konzentrationen in den Intensivlandwirtschaftsgebieten (z.B. Weinviertel, Marchfeld, südliches Wiener Becken) lassen darauf schließen, dass sich auch der P-Eintrag aus der Düngung auf die Konzentrationen in den Bachsedimenten auswirkt.

Pb – Blei (Abb. 107–109)

Geogene Herkunft

Oxichalkophiles Spurenelement; in den gesteinsbildenden Alumosilikaten durch das Hauptelement Kalium abgefangen oder durch Kalzium getarnt. In Lagerstätten assoziiert mit Zink, Eisen, Kupfer, Silber, Antimon und Arsen.

Blei bildet eine Reihe wirtschaftlich bedeutender Minerale, wie Galenit (Bleiglanz) PbS, Bleisulfosalze und Cerussit PbCO₃; Spurenelement in Kalifeldspäten, Plagioklas, Glimmer, Zirkon und Magnetit.

Häufigkeit (Pb in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	17 ⁶
ultrabasische Gesteine	1,0 ³
basische Gesteine	5 ²
intermediäre Gesteine	15 ¹
granitische Gesteine	20 ²
Tonschiefer	20 ⁵
Sandsteine	7 ³
Karbonatgesteine	9 ³
Unterböden	17 ⁴

Wichtige Bleiminerale

Galenit (86 % Pb), Cerussit (77 %), Anglesit (68 %), Pyromorphit (76 %), Vanadinit (73 %), Clausthalit (72 %), Mimetit (70 %), Krokoid (64 %), Wulfenit (56 %), Boulangerit (55 %).

Blei als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Ankerit	10
Apatit	X00
Aragonit	10
Baryt	bis 165.000 (PbO)
Biotit	10
Bismuthinit	1.000
Borax	100
Carnotit	1.000
Cassiterit	100
Castaingit	bis 25.000
Dolomit	10
Feldspäte	10
Gips	10
Gold	1.000
Hedenbergit	100
Kalifeldspäte	Ø 66
Magnetit	100
Miargyrit	20.000–40.000
Platinminerale	bis 60
Pyrit	bis 5.000
Skutterudit	100
Sphalerit	1.000
Strontianit	100
Thorit	bis 15.000
Zirkon	bis 15.000

Technogene Herkunft

Verwendung in vielen Legierungen, in Akkumulatoren, Isoliermaterial, zur Auskleidung von korrosionsfesten Behältern, Bauindustrie (Bedachung, Isolation und Schalldämmung), Isolierglas, Verpackungsindustrie, Pigmenten, Munition, Rohren, Strahlenschutz, Farbenindustrie, in Pestiziden und früher als Antiklopfmittel in Treibstoffen.

Starke Umweltdispersion; Verbreitung durch Bergbau und Metallverhüttung, Verkehr, Klärschlamm, Müllverbrennung, Wasserversorgung (Bleirohre) und Batterien.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Element für Organismen. Stark toxisch (vor allem für Tiere), reichert sich über das Atmungssystem (Absorption durch die Lunge) und die Nahrungsaufnahme (Absorption über den Magen-Darm-Trakt) in Leber, Nieren, Blut, Knochen und Zähnen an.

Unter oxidierenden Bedingungen etwas mobiler als unter reduzierenden Bedingungen (Fällung als Sulfid). Beginnende Mobilisierung bei pH-Werten < 5. Sorption vor allem an organische Substanz, Fe- und Mn-Hydroxiden und Tonminerale.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

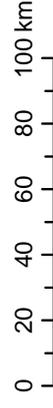
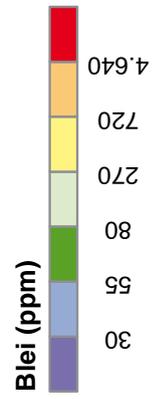
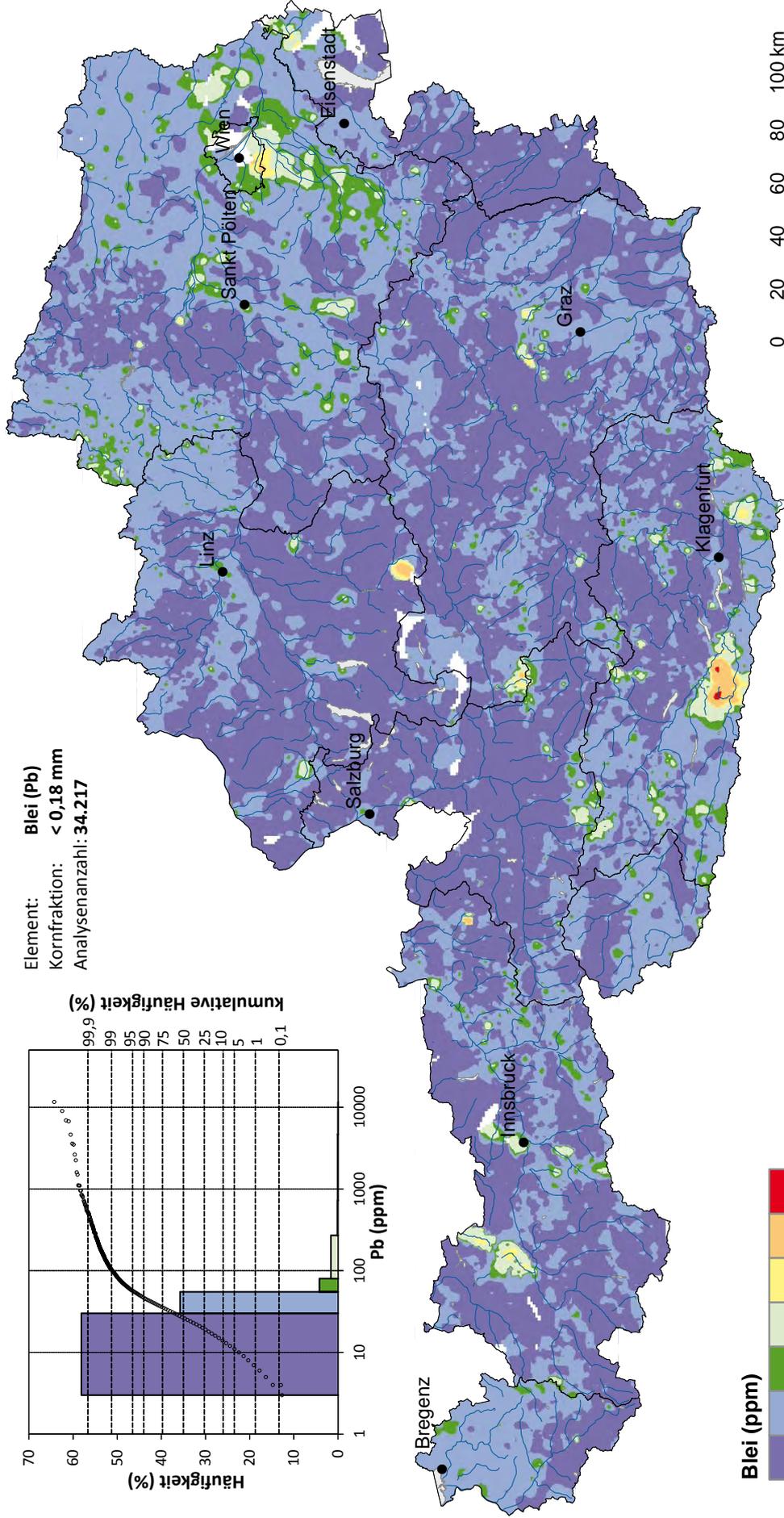
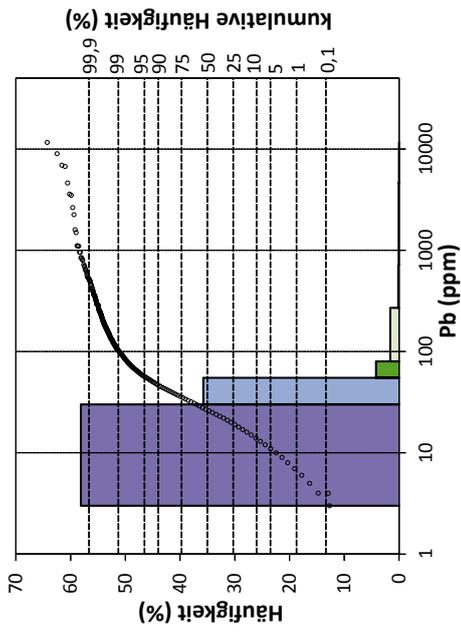


Abb. 107. Bleiverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

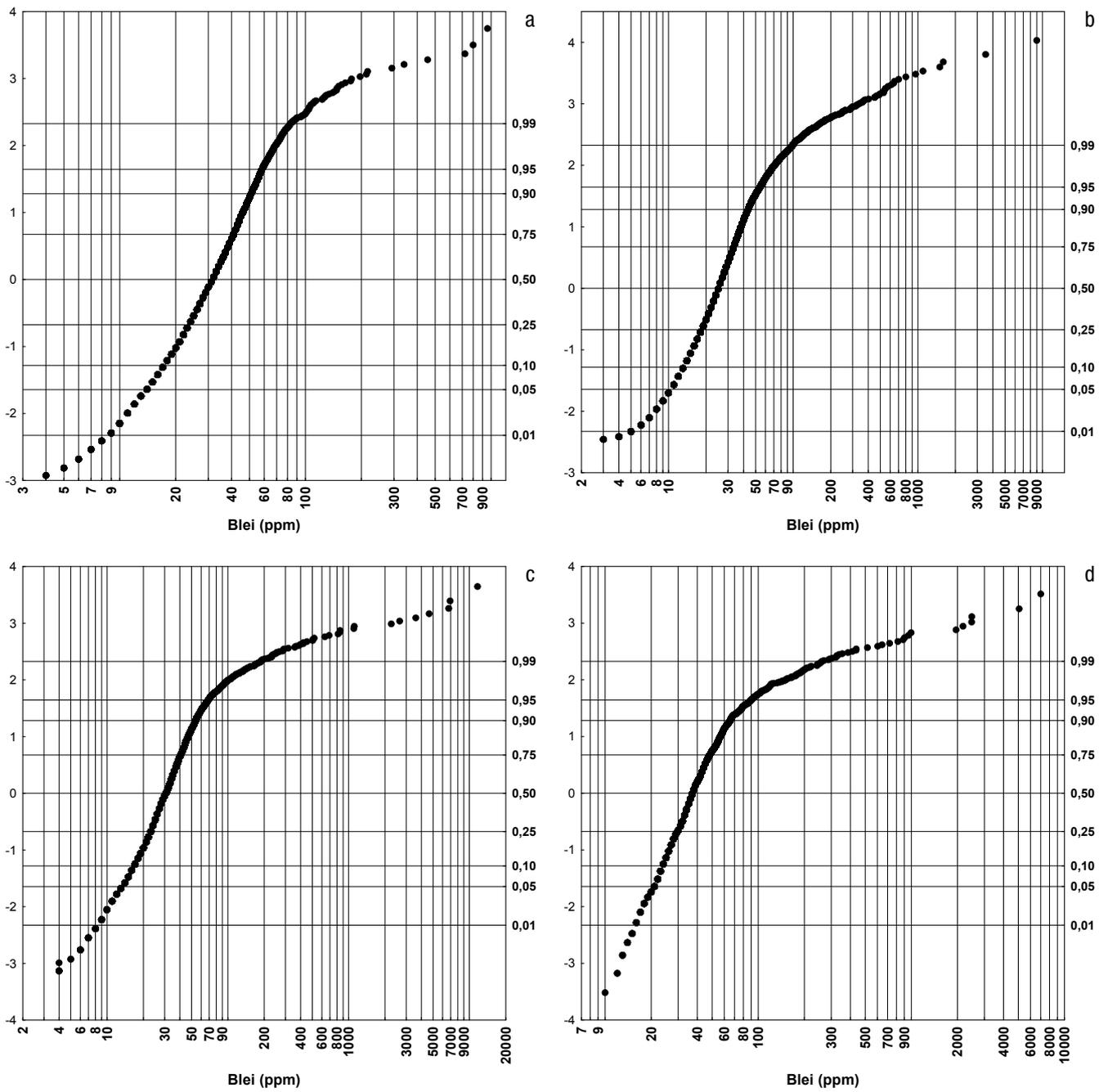


Abb. 108. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Blei in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

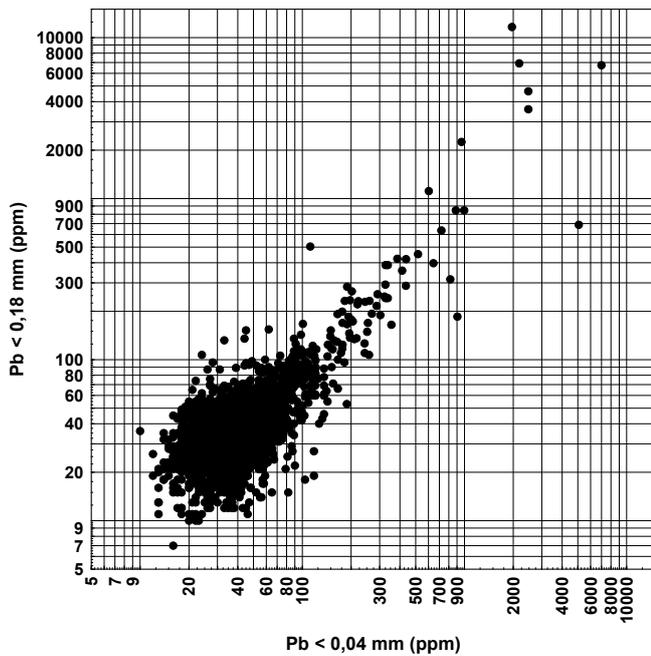


Abb. 109.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Blei (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Geogen gibt es zwei Hauptquellen für die Pb-Verteilungen in Bach- und Flusssedimenten:

- Blei als Spuren- und Nebenbestandteil im Gitter von Feldspäten.
- Polysulfid- und spezifische Pb-Zn-Vererzungen wie z.B. Pb-Zn-Vererzungen im Grazer Paläozoikum, die Pb-Zn-Vererzungen im Drauzug und den Karawanken,

die Pb-Zn-Vererzungen in den westlichen Tiroler Kalkalpen, die Polysulfidvererzungen Walchen, Schladminger Tauern, in der Kreuzeckgruppe und den Kitzbüheler Alpen.

- Galenit-Mineralisationen in alpinen Klüften, in der Sonnblickgruppe.

Eindeutig anthropogen-technogene Belastungen werden z.B. im südlichen Wiener Becken nachgewiesen.

Rb – Rubidium (Abb. 110–113)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement getarnt durch Kalium, wie auch durch Caesium und Thallium. Eigene Mineralbildungen fehlen. Ersetzt Kalium in K-haltigen Silikaten (wesentlich vor allem in Kalifeldspäten sowie in Glimmern). Es besteht ein sehr enges Konzentrationsverhältnis zwischen Kalium und Rubidium (K/Rb-Verhältnis meist zwischen 150 und 250, wobei für Karbonatgesteine das Konzentrationsverhältnis meist niedriger liegt als für kristalline Gesteine).

Häufigkeit (Rb in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	94 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,2 ³
basische Gesteine	30 ²
intermediäre Gesteine	100 ¹
granitische Gesteine	150 ²
Tonschiefer	140 ⁵
Sandsteine	60 ³
Karbonatgesteine	3 ³
Unterböden	82 ⁴

Wichtige Rubidiumminerale

Pollucit (bis 2 % Rb), Kalifeldspäte (Ø 0,05 %), Beryll (bis 6,4 %), Lepidolith (1,19–3,46 %), Carnallit (0,015–0,037 %).

Rubidium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Amphibole	1.000
Biotit	100
Feldspäte	100
Kainit	10
Muskovit	100
Phlogopit	100
Plagioklase	100
Pyroxene	10
Sylvin	100
Zinnwaldit	10

Technogene Herkunft

Verwendung für Speziallegierungen, elektronische Produkte, Halbleitertechnik, zur Lichtsteigerung in Glühlampen, in Elektronenröhren und zur Infrarotspektroskopie, in Pharmazeutika und Glas; eher geringer Einsatz für technische Produkte. Technogener Eintrag in der Umwelt ist unwesentlich (teilweise Glasindustrie).

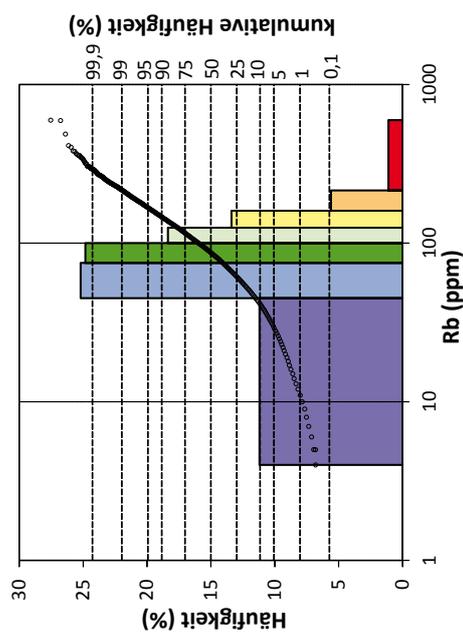
Verhalten in der Umwelt

Nicht essenzielles Element. Nicht bis mäßig toxisch (für niedrigere Pflanzen in Abwesenheit von Kalium).

Geringe Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen. Etwas weniger mobil als Kalium. Starke Sorption an Tonminerale. Bei Verwitterung verringert sich das K/Rb-Verhältnis.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Rubidium (Rb)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.039

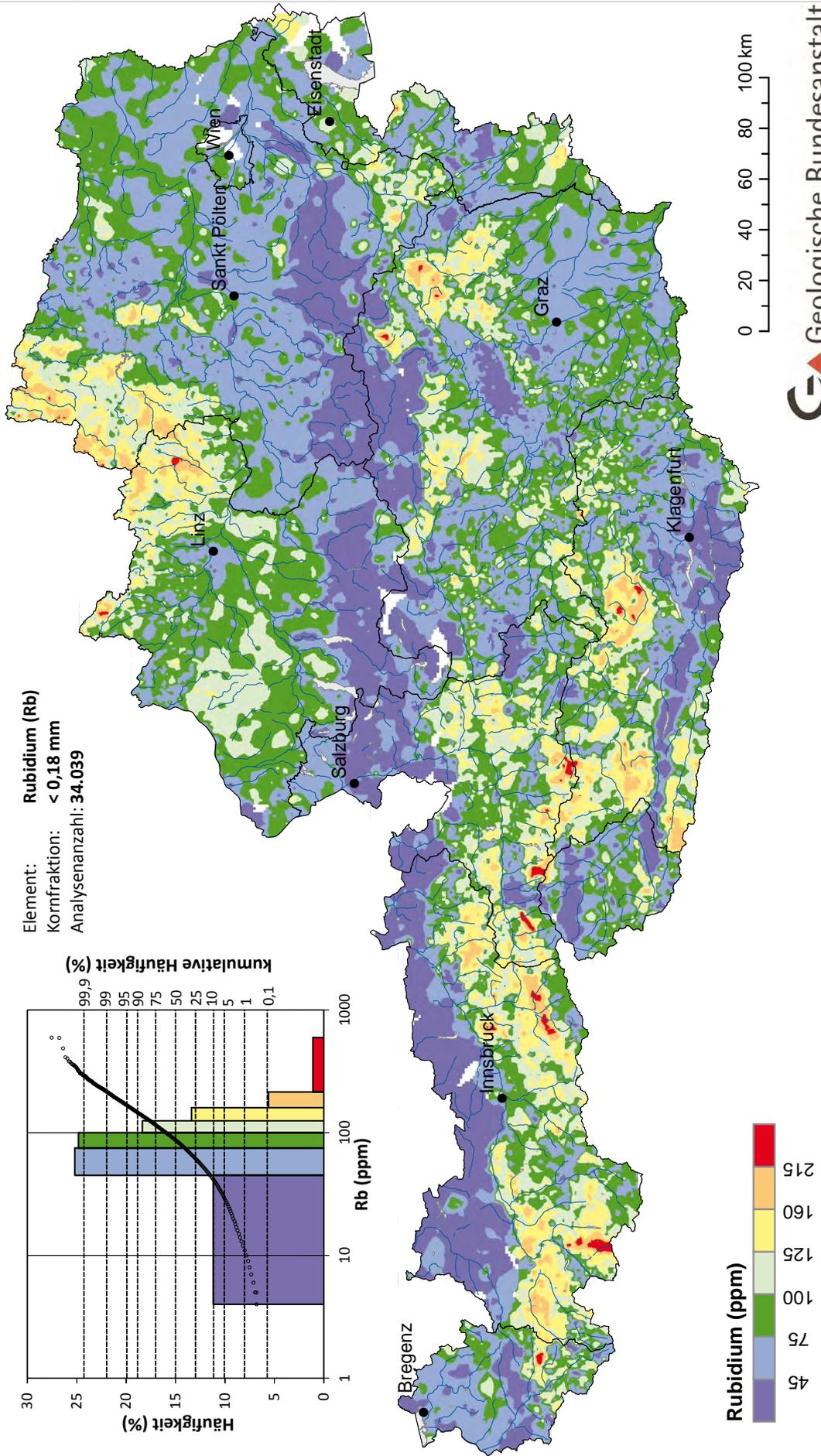


Abb. 110. Rubidiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

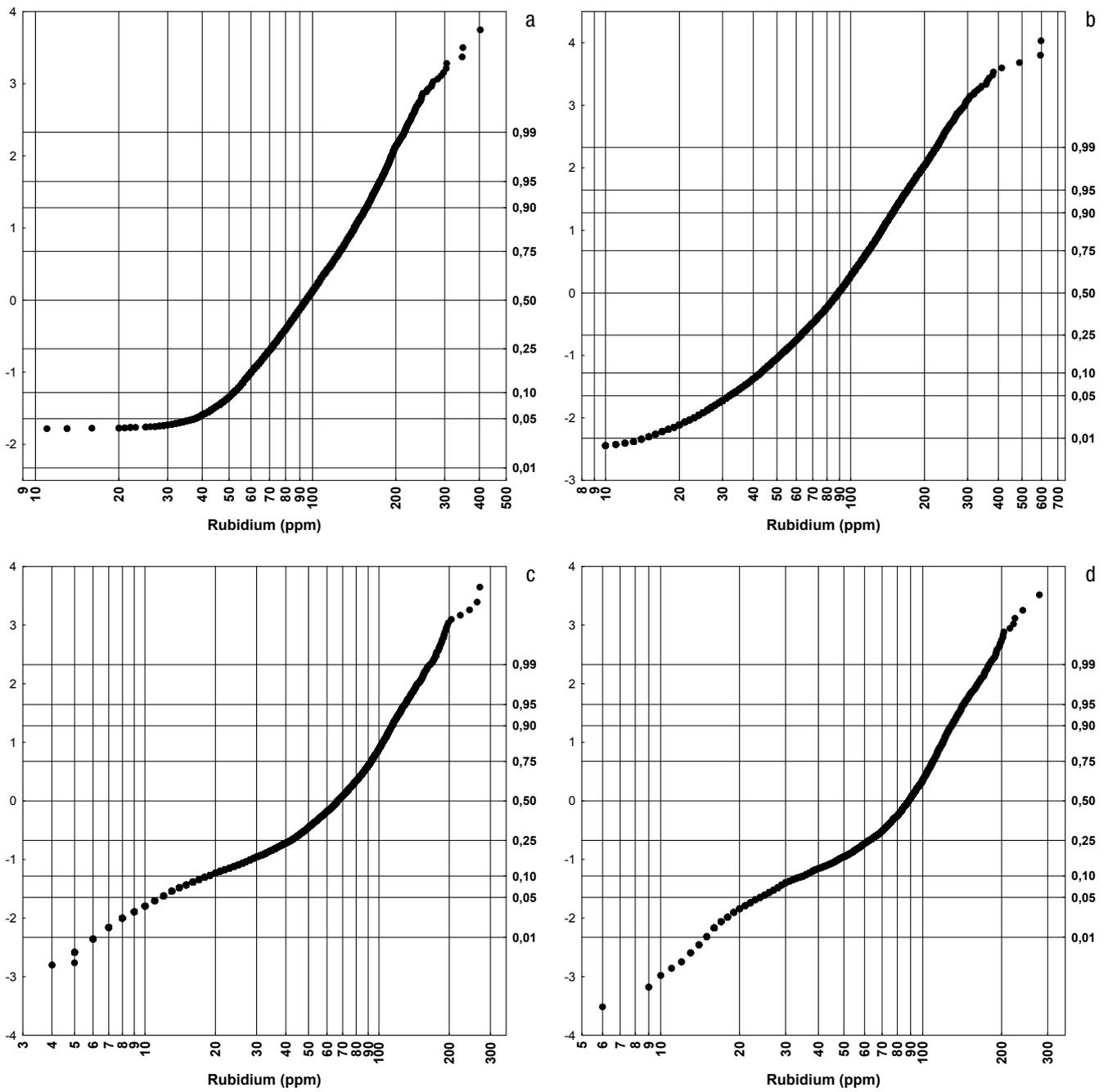


Abb. 111. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Rubidium in ppm; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

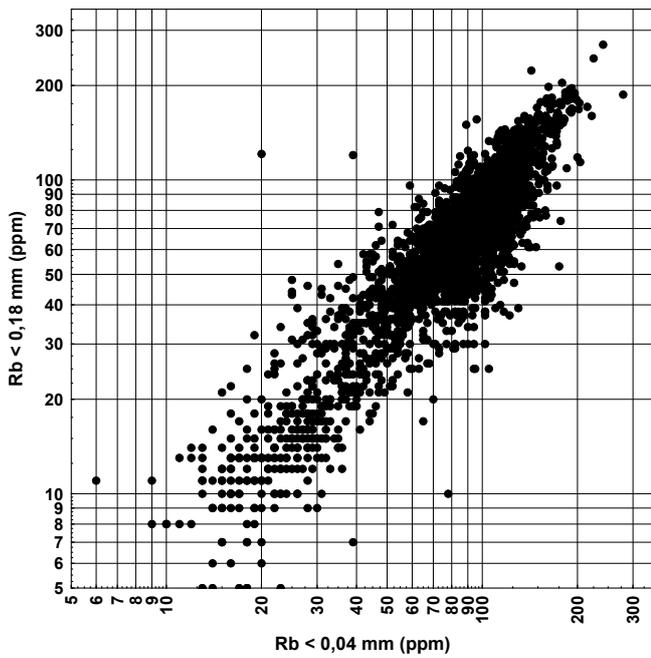


Abb. 112. Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Rubidium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Rubidium korreliert mineralogisch-geochemisch mit dem Element Kalium, insbesondere in Feldspäten und Glimmern (Abb. 113). Die räumliche Verteilung hoher Konzentrationen von Rubidium ähnelt daher der von Kalium dort sehr stark, wo die K-Konzentrationen eher mit der Feldspatführung und weniger mit den Glimmergehalten verknüpft sind.

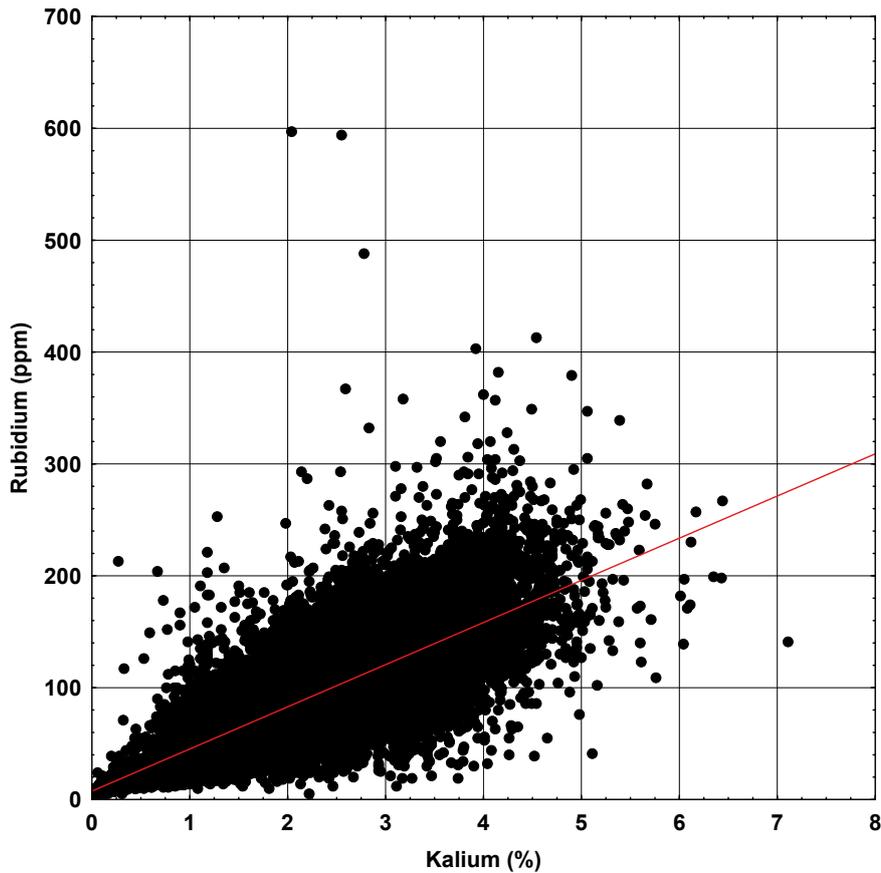


Abb. 113. Bachsedimentgeochemie / Gesamtdatensatz Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math>; Korrelation zwischen Kalium und Rubidium.

S – Schwefel (Abb. 114–117)

Geogene Herkunft

Schwefel kommt geogen selten in freier ungebundener Form als elementarer Schwefel, überwiegend aber in gebundener Form in verschiedenen Sulfiden und Sulfaten vor. In saurem Erdgas tritt Schwefel des Weiteren als H_2S auf. In magmatischen Gesteinen dominieren Sulfide von Eisen, Kupfer und Nickel. Im Laufe der Verwitterung werden die Sulfide zu Sulfaten oxidiert, so dass in Sedimenten unter aeroben Verhältnissen der anorganisch gebundene Schwefel fast nur in Form von Sulfaten vorliegt.

Minerale Sulfide wie Pyrit FeS_2 , Galenit PbS , Sphalerit ZnS , Fahlerze u.a.; Sulfate wie Gips $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, Anhydrit $CaSO_4$ u.a. Als Spurenelement in Biotit, Hornblende.

Häufigkeit (S in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	621 ⁶
ultrabasische Gesteine	300 ³
basische Gesteine	250 ²
intermediäre Gesteine	200 ¹
granitische Gesteine	270 ²
Tonschiefer	2.400 ⁵
Sandsteine	240 ³
Karbonatgesteine	1.200 ³
Unterböden	105 ⁴

Wichtige Schwefelminerale

Schwefel (gediegen), Pyrit (54 % S), Markasit (54 %), Braivoit (54 %), Linneit (42 %), Molybdänit (40 %), Auripigment (39 %), Albandin (37 %), Pyrrhotin (37 %), Chalkopyrit (35 %), Covellin (34 %), Pentlandit (33 %), Enargit (33 %), Sphalerit (33 %), Realgar (30 %), Bornit (26 %), Anhydrit (24 %).

Schwefel als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm) ^{8,9}

Aegirin	100
Aktinolith	100
Amphibole	10
Biotit	100
Chamosit	bis 17.000 SO_3
Chloanthit	100
Dolomit	10
Löllingit	bis 60.000
Nickelin	bis 50.000
Pyroxene	10
Rammelsbergit	bis 24.000
Skutterudit	bis 17.000
Smaltin	bis 14.000
Sodalith	bis 110.000

Technogene Herkunft

Verwendung in der chemischen Industrie, Gummierzeugung, Viskose- und Zelluloseindustrie, Zündhölzern, Fungiziden, pharmazeutischen Produkten, Farbstoffen, für Schießpulver und Bleichmittel. Technologischer Eintrag in die Umwelt vor allem über Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger (Hausbrand, Kraftwerke, Zementwerke, Verkehr), des Bergbaus, der Metallverhüttung und der aus Papier- und Textilfabriken.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement für alle Organismen. Viele Schwefelverbindungen sind in höheren Konzentrationen toxisch (z.B. H_2S).

Schwefel weist je nach vorliegender Verbindung unterschiedliche Mobilität auf; unter reduzierenden Bedingungen niedrige Mobilität (Sulfidfällung), unter oxidierenden Bedingungen hohe Mobilität.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

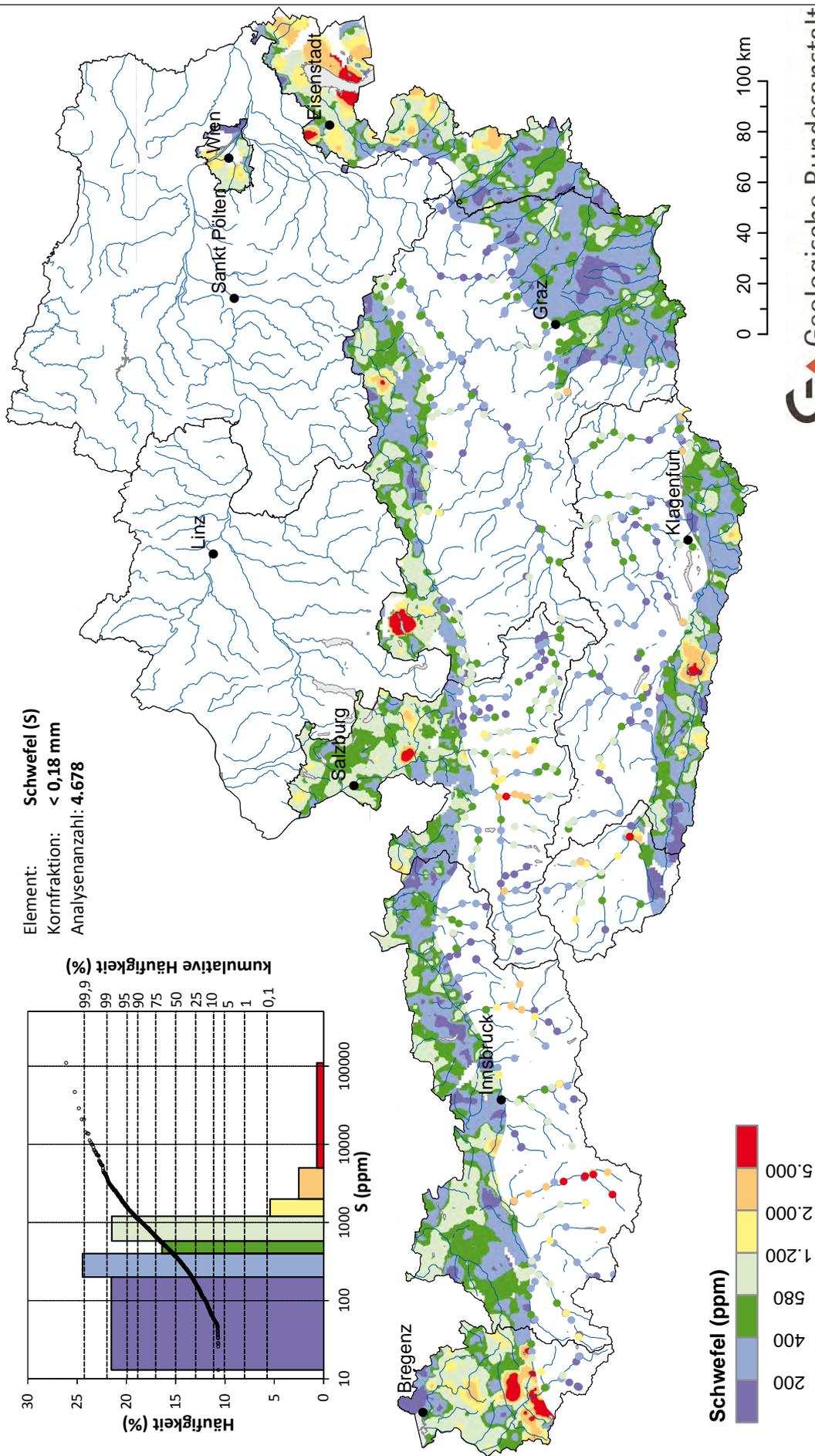
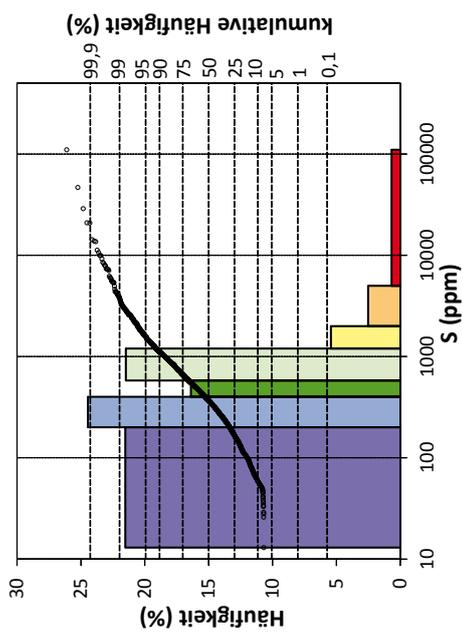


Abb. 114. Schwefelverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

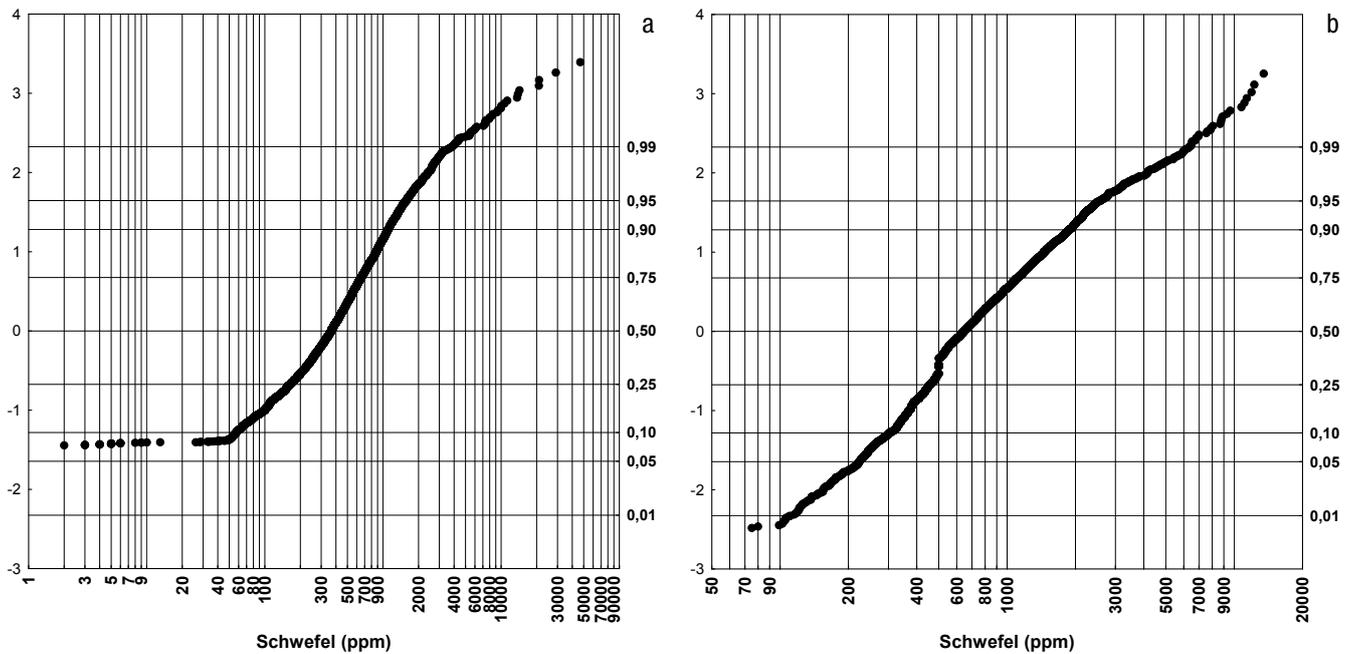


Abb. 115. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Schwefel in %; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) bzw. < 0,04 mm (b).

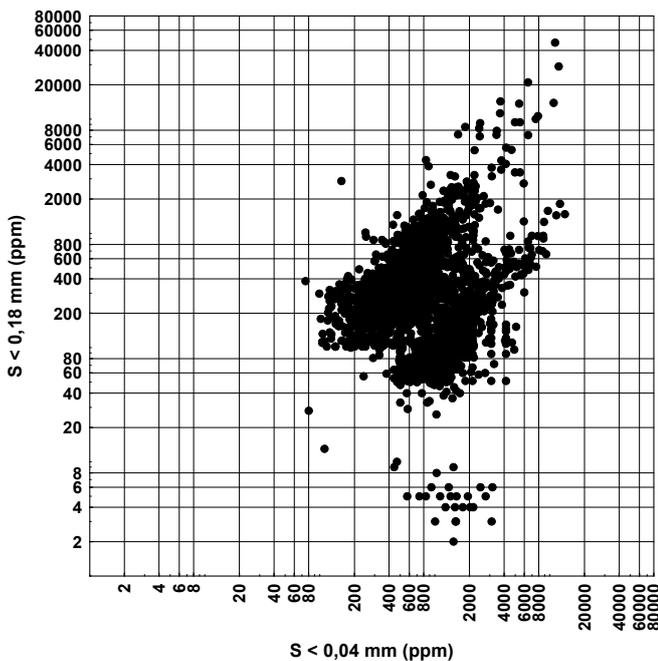


Abb. 116. Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Schwefel (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Schwefel wurde mit den Bundesländerprojekten in die Analytikliste aufgenommen; die Kornfraktion < 0,18 mm wurde auch für alle Bundesländer analysiert. Übersichtskontrollen über alle Bundesländer haben aber ergeben, dass sich die entsprechenden Ergebnisse für Niederösterreich nicht zur Dokumentation eignen. Dafür werden ausschnittsweise die Analyseergebnisse der Fraktion < 0,04 mm dargestellt (Abb. 117).

Für hohe und sehr hohe Konzentrationen (> bis >> 1.000 ppm) gibt es geogen zwei Hauptquellen:

- Sulfide in Zusammenhang mit polysulfidischen Vererzungen oder feinverteilten Pyritgehalten.
- Sulfate in Zusammenhang mit Gips-/Anhydrit-Körpern in kalkalpinen Serien.

Die zahlreichen Probepunkte mit höheren S-Konzentrationen in Bächen des Burgenlandes und des nördlichen Vorarlbergs könnten auch auf anthropogene Einträge hinweisen.

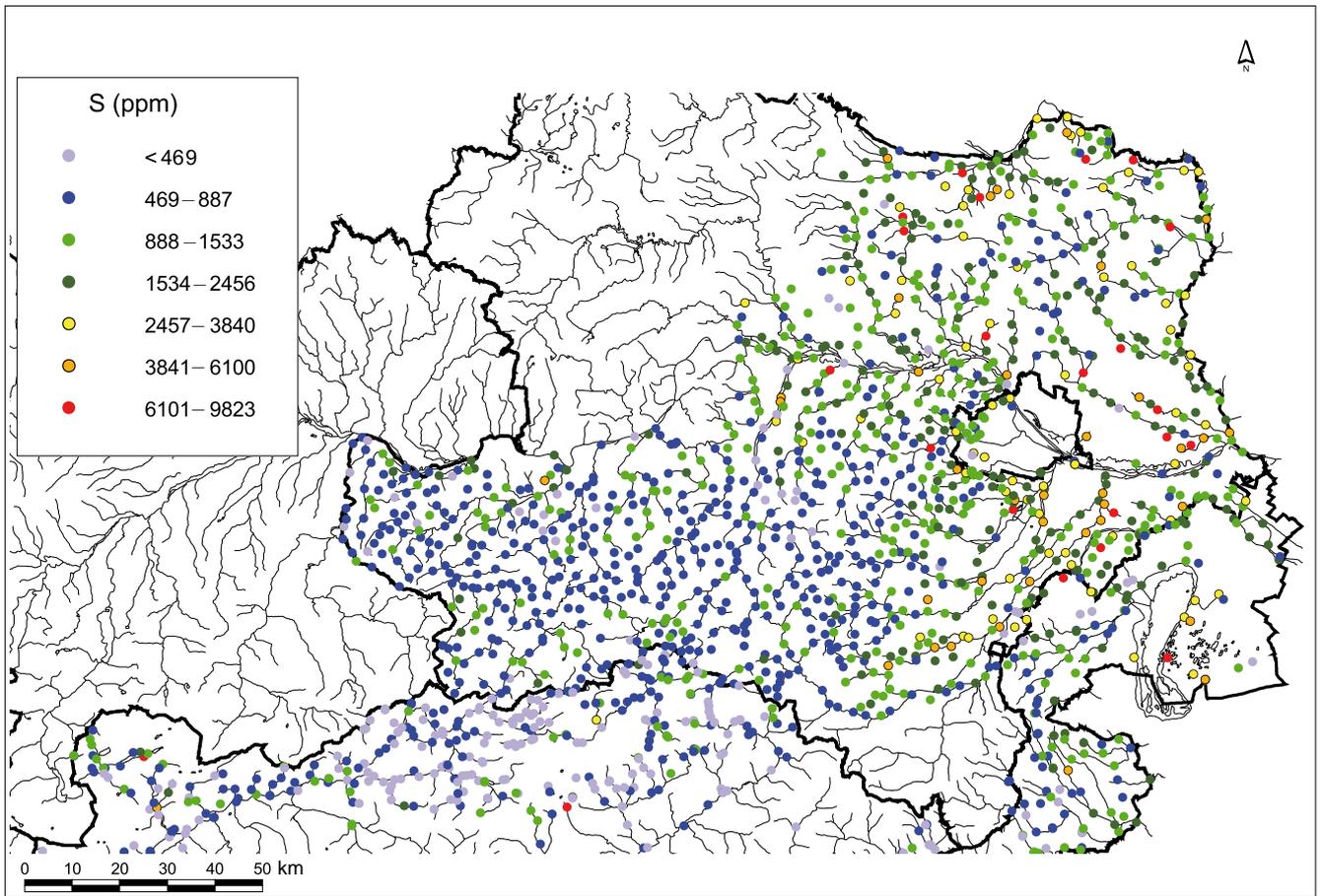


Abb. 117. Bach- und Flusssedimentgeochemie < 0,04 mm, Ausschnitt Niederösterreich, Nordsteiermark und Nordburgenland; Schwefelverteilung.

Sb – Antimon (Abb. 118–119)

Geogene Herkunft

Oxichalkophiles Spurenelement; assoziiert mit Arsen, Quecksilber, Titan, Wolfram, Gold, Silber, Blei und Zink; Zusammen mit Arsen und Bismut wichtiges Pfadfinderelement für Goldmineralisationen. Antimon bildet eine Reihe selten vorkommender Minerale, darunter Stibnit Sb_2S_3 , Antimonfahlerz (Tetraedrit) sowie weitere Sulfoantimonide und Antimonoxide; als Spurenelement in Ilmenit, Mg-Olivine, Galenit, Sphalerit, Pyrit.

Häufigkeit (Sb in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	0,4 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,1 ³
basische Gesteine	0,2 ²
intermediäre Gesteine	0,2 ¹
granitische Gesteine	0,2 ²
Tonschiefer	1,5 ⁵
Sandsteine	0,05 ³
Karbonatgesteine	0,2 ³

Wichtige Antimonminerale

Stibnit (71,4 % Sb), Tetraedrit (bis 29,2 %), Jamesonit (50,8 %), Boulangerit (25 %), Kyindrit (13,9 %), Franckit (17,2 %), Bournonit (24,9 %), Livingstonit (53,4 %), Valentinit (83,4 %), Kermesit (79,2 %), Stibioconit (76,4 %), Breithauptit (67 %), Miargyrit (41 %), Dyserasit (27 %).

Antimon als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Arsen (gediegen)	bis 92.000
Arsenopyrit	100
Auripigment	1.000
Cassiterit	100
Cobaltin	100
Galenit	bis 30.000
Gold (gediegen)	1.000
Krokoit	100
Löllingit	bis 50.000
Markasit	100
Nickelin	1.000
Pyrit	bis 700
Realgar	100
Safflorit	100
Skutterudit	100
Sphalerit	bis 30.000
Tennantit	1.000

Technogene Herkunft

Verwendung als Flammschutzadditiv in Kunststoffen und Textilien, als Legierungsmetall für Buntmetalle, als Katalysator in der PET-Herstellung, zur Härtung von Bleikomponenten in Akkumulatoren, Verbindungshalbleitern, Transistoren, in Brems- und Kupplungsbelägen, Farbpigmenten, in der Glas- und Keramikproduktion, pharmazeutischen Industrie, Pyrotechnik. Eintrag in die Umwelt aus Bergbau, Schlacken und Stäuben des Metallabbaus, der Metallverhüttung und Metallherzeugung, Emissionen aus Kohleverbrennung, KfZ-Verkehr, Müllverbrennung, Abwasser. Wie bei Arsen überwiegen die technogenen Quellen gegenüber den geogenen Quellen.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Element für Organismen; entspricht in seiner Toxikologie etwa dem Arsen und Bismut. Dreiwertiges Antimon toxischer als fünfwertiges; unter reduzierenden Bedingungen geringe Mobilität, unter oxidierenden Bedingungen etwas höhere Mobilität; geringe pH-Abhängigkeit der Mobilität; im sauren Milieu möglicherweise stärkere Bindung an Fe- und Al-Hydroxide bzw. Tonminerale; in den Bachsedimenten Anreicherung in der Feinfraktion.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

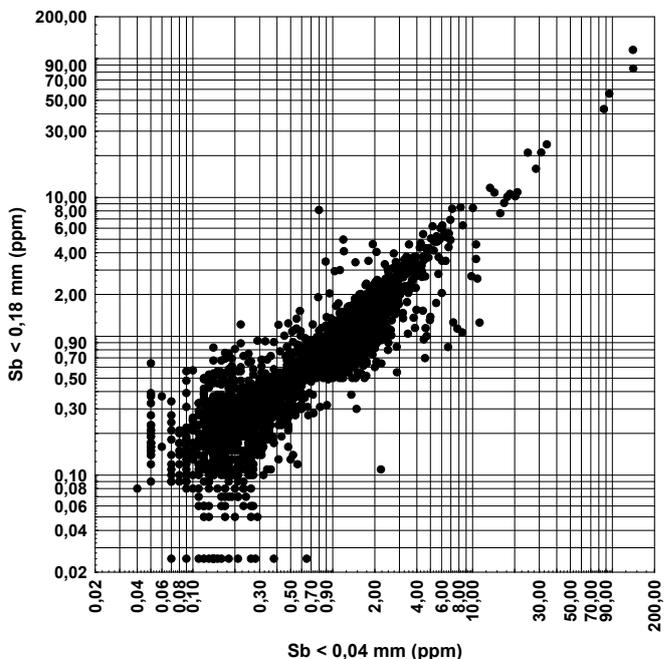


Abb. 118. Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Antimon (Bundesländerprojekte).

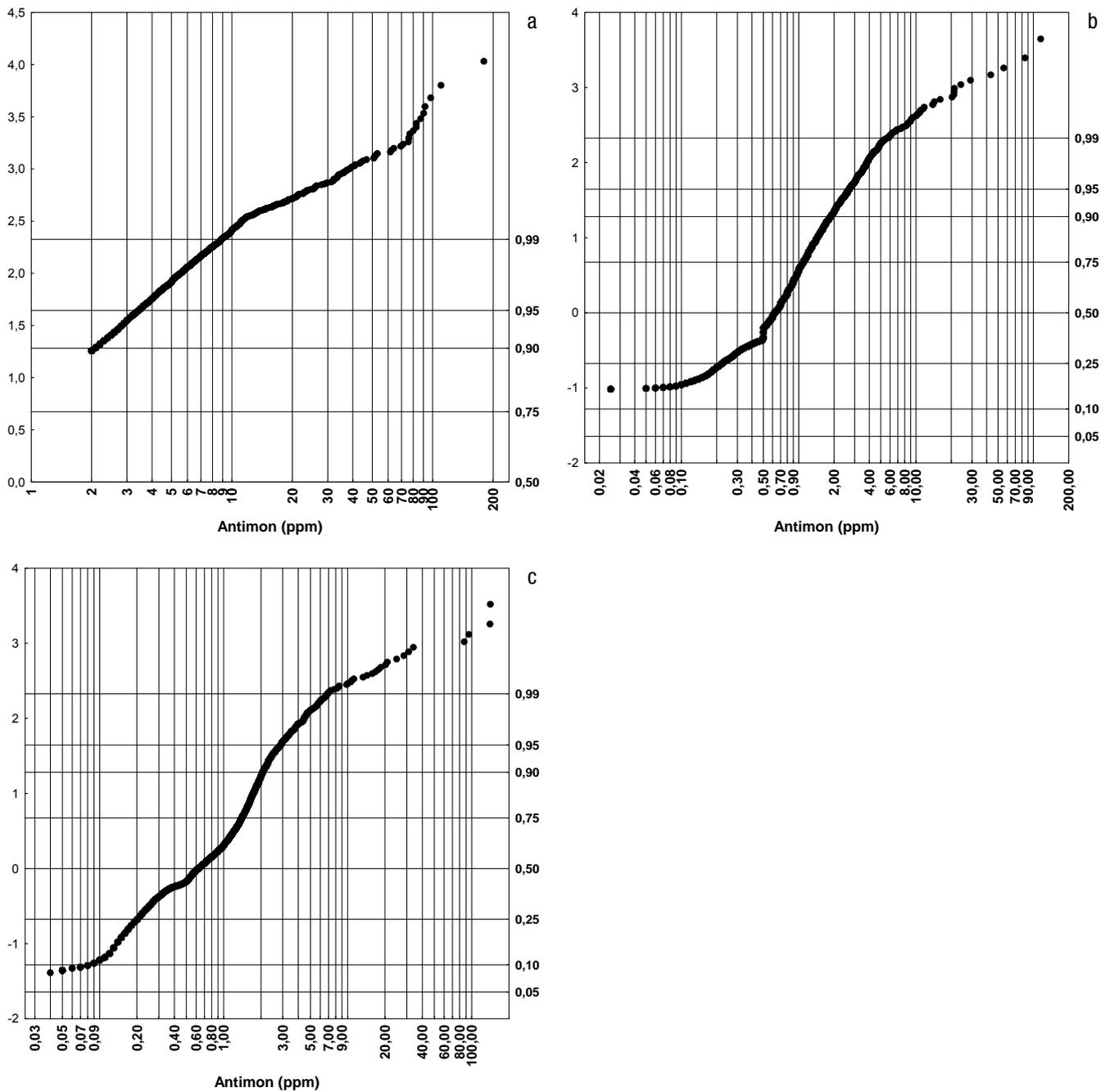


Abb. 119. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Antimon in ppm; Zentralzone (a) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; b) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; c).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Für das Element Antimon besteht das Problem, dass bei der Analytik der Bach- und Flusssedimente < 0,18 mm für die Böhmisches Masse praktisch 90 % der Daten unter der Bestimmungsgrenze gelegen sind. Darüber hinaus ist im Gesamtdatensatz, einschließlich der Bundesländer, die 99er-Perzentile erst bei einer Konzentration von 8 ppm. Nur wenige Analysen können daher für die Interpretation

herangezogen werden. Deshalb wird auch keine Flächen-darstellung ausgeführt.

Die Verteilung der Konzentrationen > 8 ppm können freilich eindeutig als geogen indiziert und interpretiert werden. Praktisch alle diese Probepunkte sind entweder bekannten Antimonitvererzungen (Schlaining, Obertilliach, Rabant, Falggasanerbachtal) oder polysulfidischen Vererzungen mit Sb-führenden Fahlerzen zuzuordnen.

Sc – Scandium (Abb. 120–123)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; assoziiert mit Vanadium, Titan, Eisen, Aluminium und Schwermineralelementen; klassisches Nebenelement in magmatischen Lagerstätten; Anreicherung in oberflächennahen Verwitterungslagerstätten; seltene Mineralbildungen: Thortveitit $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, Bazzit (Sc-Beryll). Spurenelement in Pyroxenen, Amphibol, Biotit, in Schwermineralen wie Zirkon, Rutil sowie in Mineralen der Seltenen Erden.

Häufigkeit (Sc in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	14 ⁶
ultrabasische Gesteine	15 ³
basische Gesteine	38 ²
intermediäre Gesteine	2,5 ²
granitische Gesteine	5 ²
Tonschiefer	13 ⁵
Sandsteine	1 ³
Karbonatgesteine	1 ³
Unterböden	9 ⁴

Wichtige Scandiumminerale

In Mineralien der Seltenen Erden, Thortveitit (bis 17 % Sc) Sc+SE-Oxide, Beryll (bis 0,1 % Sc_2O_3), Monazit, Uranerze.

Scandium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Almandin	10
Amphibole	10
Biotit	10
Kassiterit	Ø 90
Muskovit	10
Olivin	10
Pyrop	10
Pyroxene	100
Spessartin	10
Wolframit	100

Technogene Herkunft

In geringen Mengen Verwendung in Sc-Al-Leichtmetalllegierungen, Leuchtstoffröhren, Glas, Fernsehern, Katalysatoren, Energiesparlampen und Laserkristallen. Verteilung in der Umwelt geogen bedingt; durch die stark zunehmende Verwendung von Scandium in der Industrie kommt es zu einer Zunahme der technogen bedingten Umweltdispersion.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement; über Toxizität ist wenig bekannt, wahrscheinlich kaum toxisch; Ballastelement wie Aluminium. Keine Angaben zu Mobilität in der Literatur; in Sedimenten vorwiegend an verwitterungsbeständige Gesteinsminerale, wie Glimmer, sowie an die Schwermineralfraktion gebunden.

² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

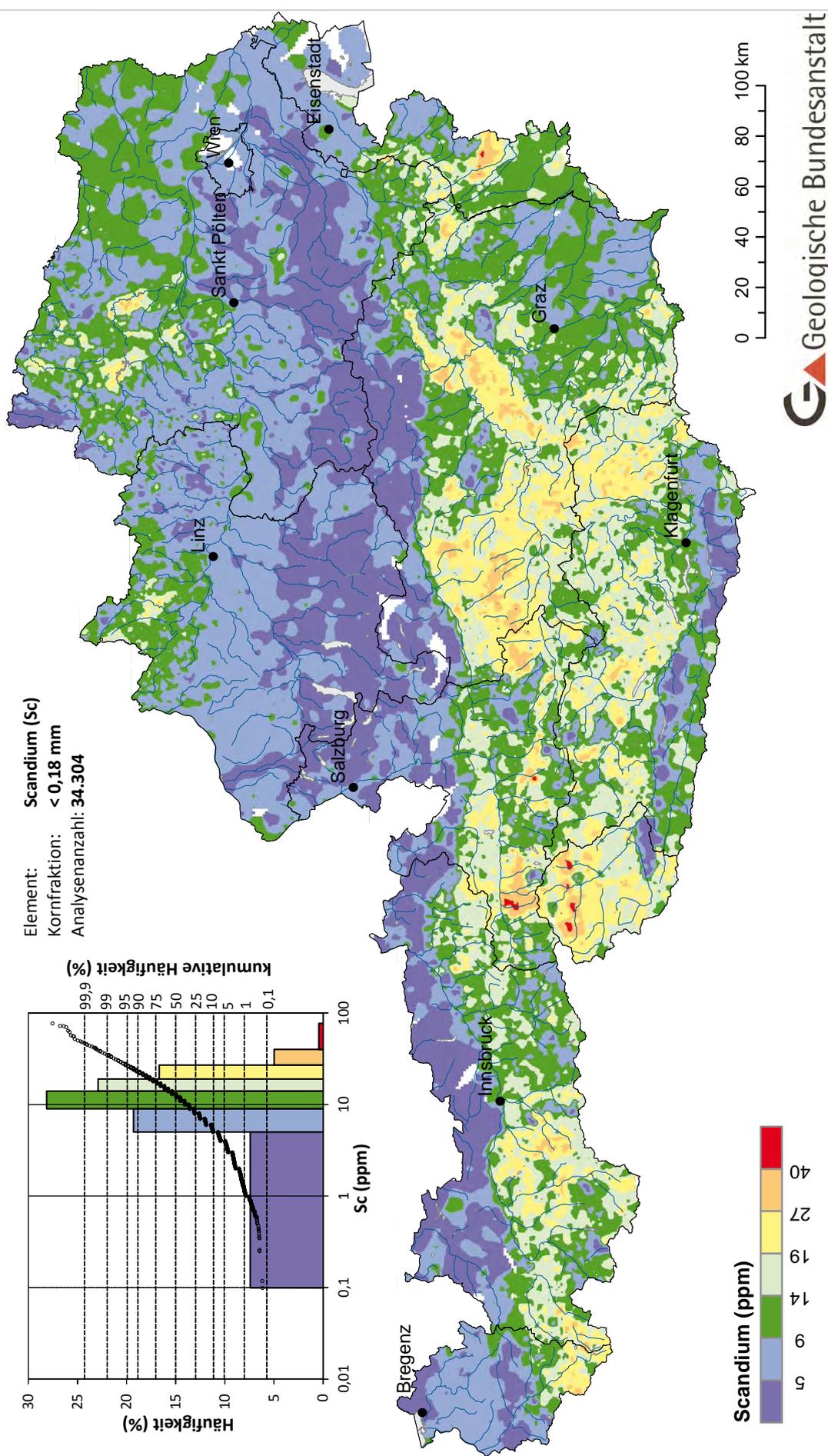
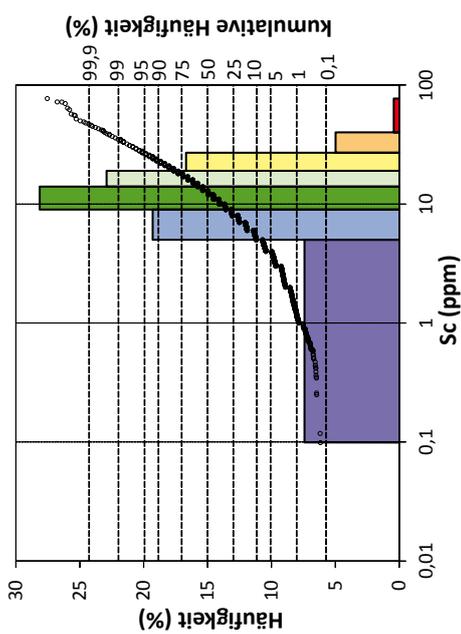


Abb. 120. Scandiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

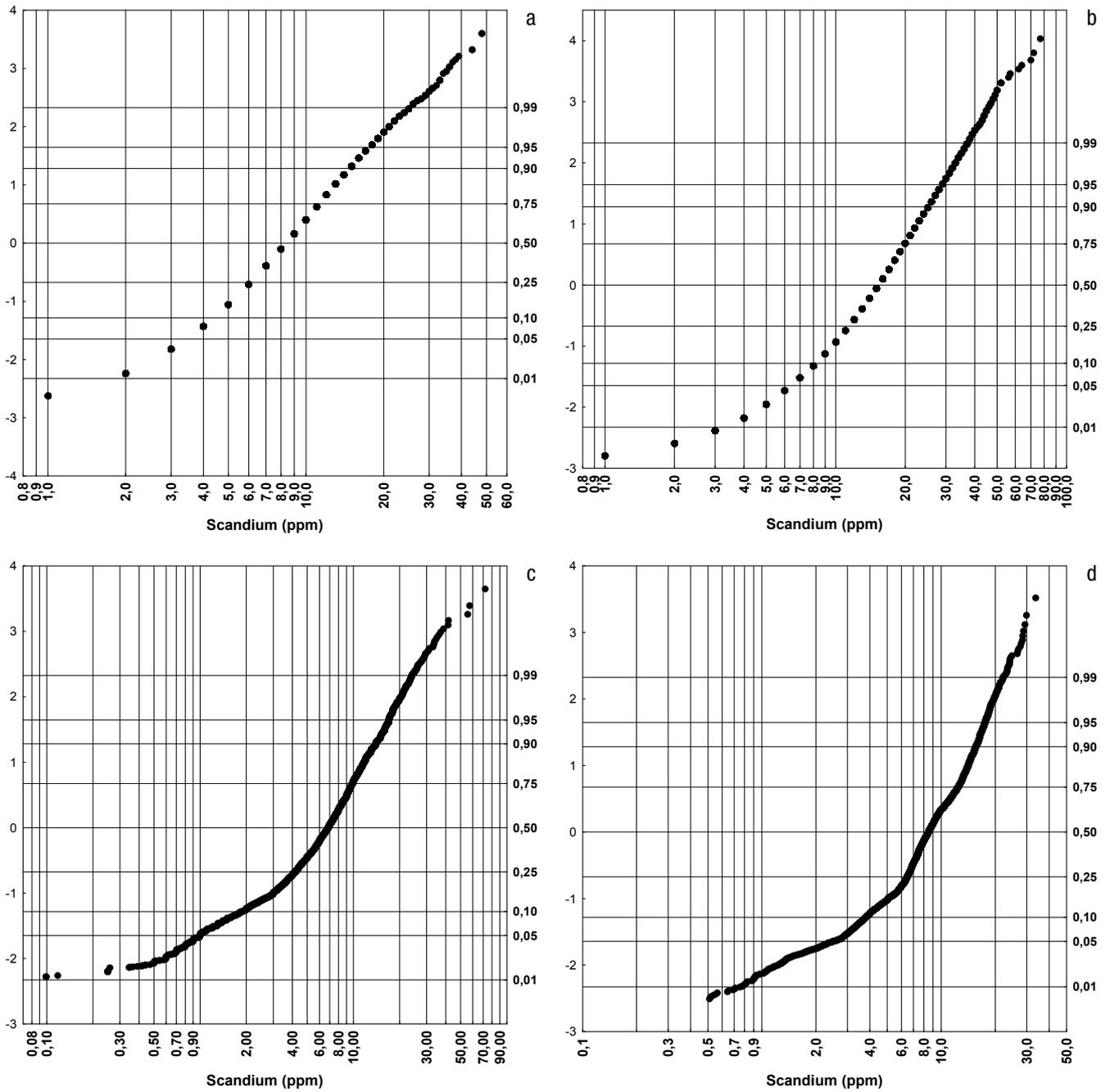


Abb. 121. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Scandium in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

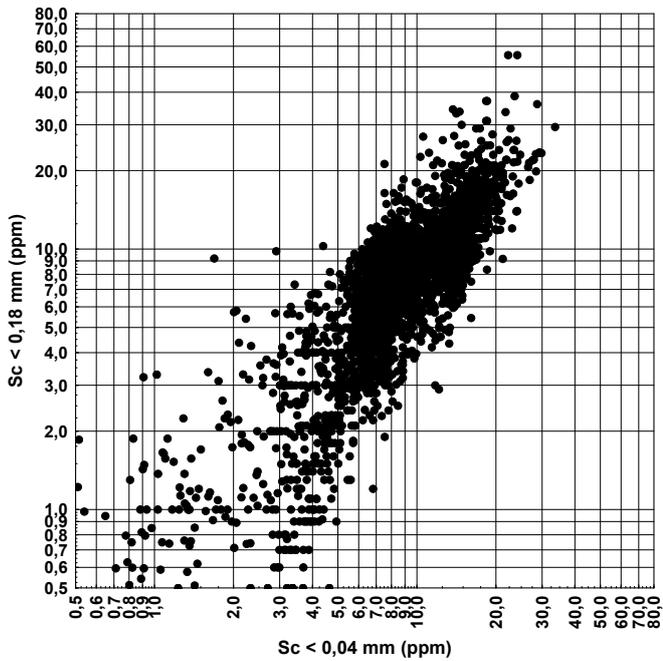


Abb. 122. Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Scandium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Scandium ist als Spurenelement in Amphibolen, Pyroxenen und Biotit überwiegend mit basischen Gesteinen assoziiert. Trotz der geringen Konzentrationsspanne zwischen 1 und ca. 100 ppm sind doch komplexe Verteilungsmuster in den ostalpinen Kristallineinheiten und dem Subpennikum nachweisbar. Große Teile der Kristallinserien besitzen dabei Grundgehalte bis etwa 15 ppm. Sc-Konzentrationen im Bereich von basischen Gesteinen liegen bei $> 30 \text{ ppm}$.

Die Darstellung der Scandium-Daten der Kornfraktion $< 0,18 \text{ mm}$ für die Bundesländer (Abb. 123) erlaubt eine weitere Differenzierung der niedrigeren Konzentrationen und deren räumlicher Verteilung.

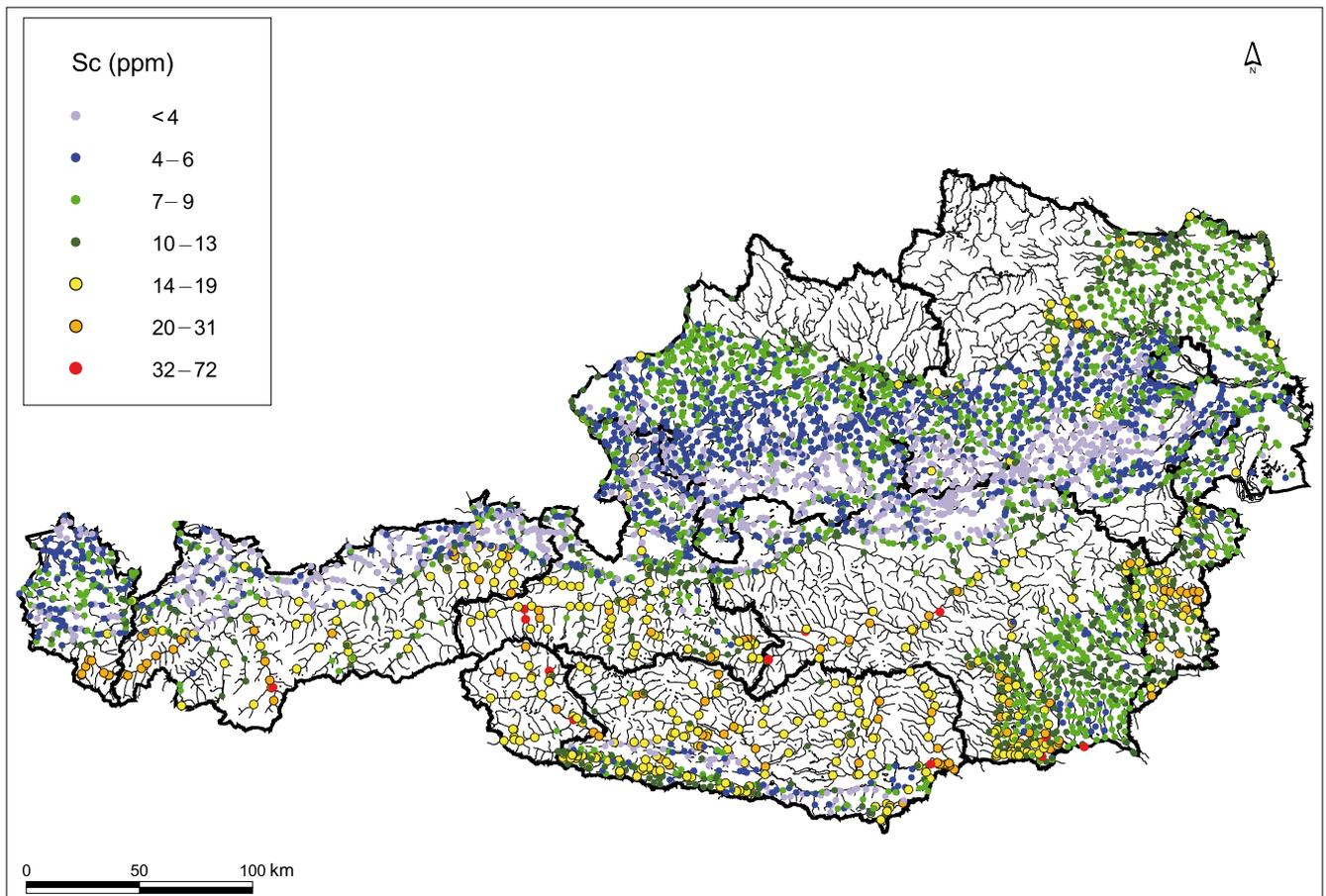


Abb. 123. Bach- und Flusssedimentgeochemie $< 0,18 \text{ mm}$, Bundesländerprojekte; Scandiumverteilung.

Se – Selen (Abb. 124–126)

Geogene Herkunft

Chalkophiles Spurenelement; bildet eine Reihe seltener Minerale, darunter Crookesit $(\text{Cu,Tl,Ag})_2\text{Se}$, Clausthalit PbSe , Berzelianit Cu_2Se ; Spurenelement in Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit; kann Schwefel im Kristallgitter ersetzen; assoziiert mit Uranerzen.

Häufigkeit (Se in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	0,09 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,05 ³
basische Gesteine	0,05 ²
intermediäre Gesteine	0,05 ¹
granitische Gesteine	0,05 ²
Tonschiefer	0,60 ⁵
Sandsteine	0,05 ³
Karbonatgesteine	0,08 ³

Wichtige Selenminerale

Clausthalit (28 % Se), Blockit (28 %), Naumannit (27 %), Schwefel (bis 5,2 %), Pyrit (bis 5 %), Tetradymit (bis 2 %), Weibullit (12–14 %), Selen (gediegen), Tiemannit, Canfieldit.

Selen als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Arsenopyrit	10
Auripigment	bis 200
Bismuthinit	bis 3.000
Bornit	bis 150
Chalkopyrit	bis 2.100
Cinnabarit	bis 4.000
Galenit	100
Markasit	bis 6.500
Molybdänit	bis 1.200
Pyrrhotin	bis 500
Realgar	10
Sphalerit	bis 1.000

Technogene Herkunft

Verwendung in photoelektrischen Zellen, zum Bau von Gleichrichtern, Legierungen, für Magnetverstärker, als Schmiermittelzusatz, zur Glaserzeugung, in Pigmenten, Fungiziden, Pharmazeutika, als Futtermittelzusatz. Eintrag in die Umwelt über Emissionen aus Kohlefeuerung, Cu-Pb-Verhüttung, Abwasser und P-Dünger.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement für viele Organismen. Einerseits Mangel-element, andererseits toxische Effekte bei höheren Konzentrationen (relativ enger Bereich der optimalen Se-Versorgung).

Unter oxidierenden Bedingungen hohe, unter reduzierenden sehr geringe Mobilität. Sowohl im sauren als auch im basischen Milieu sehr mobil. Kann in der organischen Substanz angereichert werden. Sorption auch an Tonmineralen und Fe-Hydroxiden.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

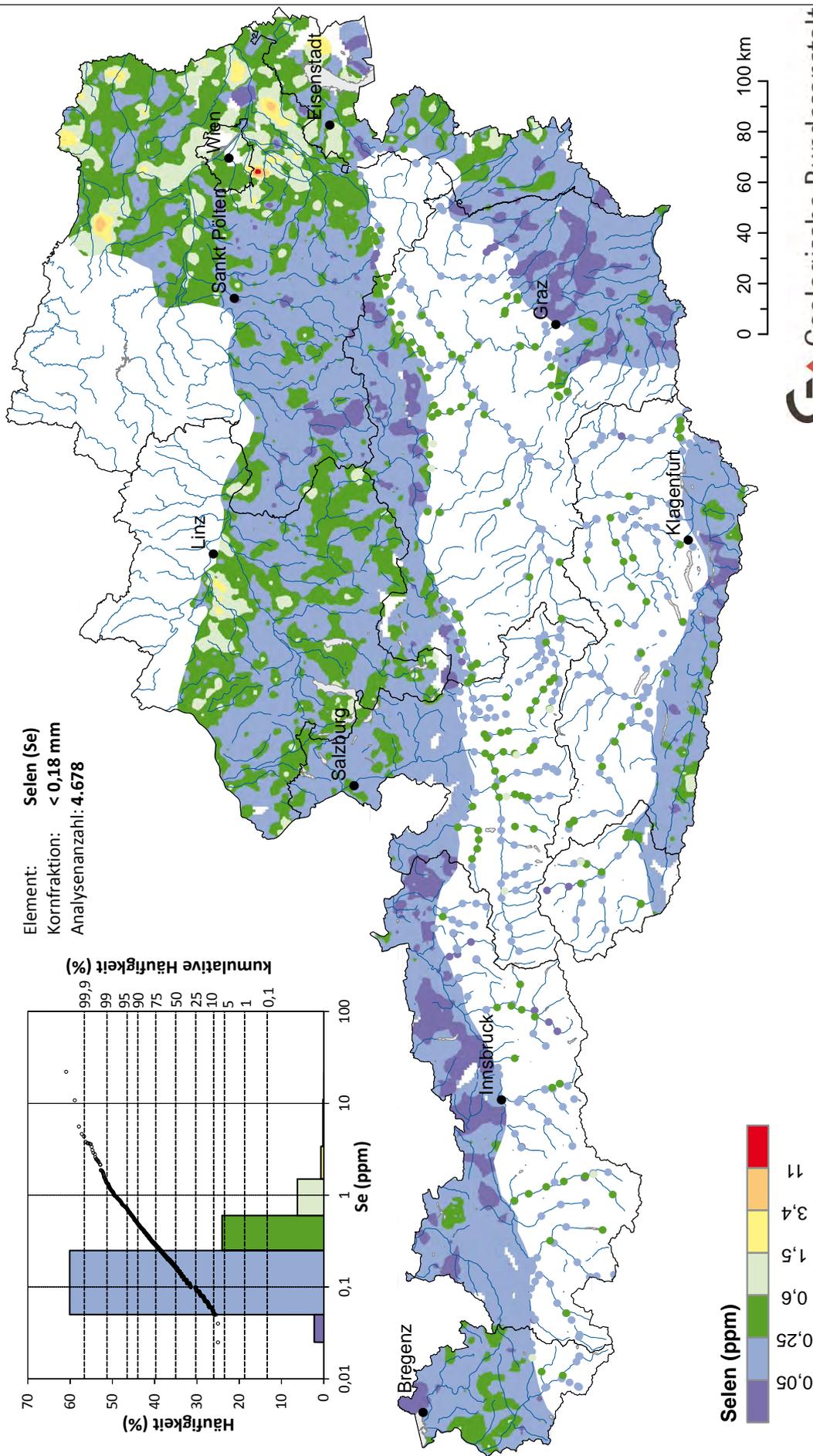
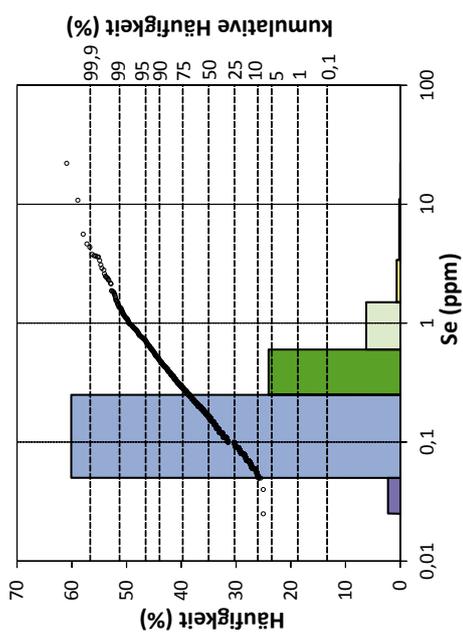


Abb. 124. Selenverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

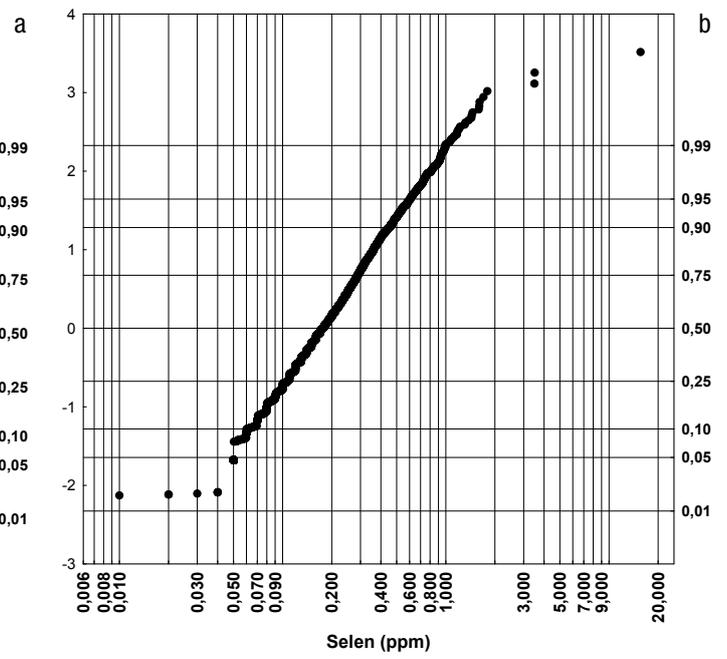
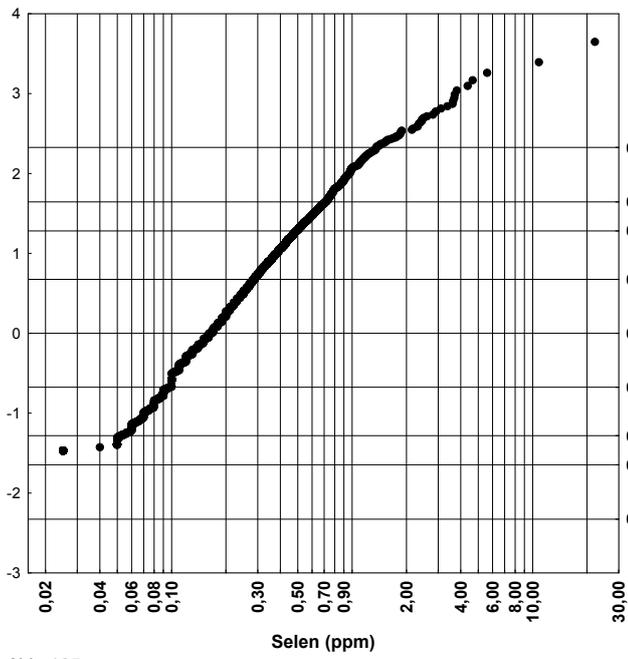


Abb. 125.
Kumulative Häufigkeitsverteilung für Selen in ppm; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) bzw. < 0,04 mm (b).

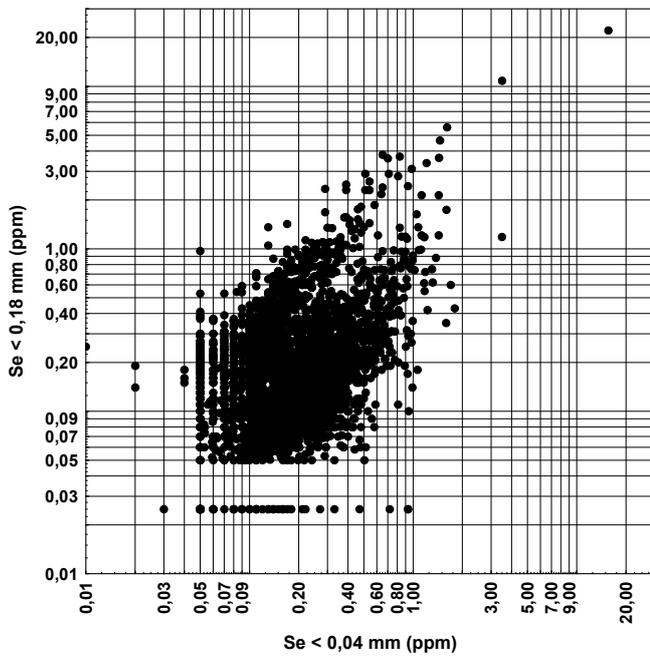


Abb. 126.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Selen (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Für das Element Selen liegen Analysedaten an der Fraktion $< 0,18 \text{ mm}$ für alle Bundesländer vor.

Geogen besteht hauptsächlich eine Korrelation des Elementes Selen zu Sulfiden. Die räumliche Verteilung der Analyseergebnisse an der Kornfraktion $< 0,18 \text{ mm}$ lässt aber kaum eindeutige Interpretationen mit einem Bezug

zu geologischen Einheiten und/oder sulfidischen Vererzungen zu.

Auffällig ist freilich, dass sich Probepunkte mit höheren Se-Konzentrationen ($> 1,5 \text{ ppm}$) in den Intensivlandwirtschaftsgebieten konzentrieren. Möglicherweise besteht hier auch ein Zusammenhang mit Düngung oder anderen anthropogenen Einträgen.

Si – Silicium (Abb. 127–130)

Geogene Herkunft

Zweithäufigstes Element in der Erdkruste nach Sauerstoff. Hauptelement in silikatischen Gesteinen. In der Natur liegt Silicium als Quarz SiO_2 oder in einer außerordentlichen Vielfalt als Silikate vor.

Häufigkeit (Si in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	31,1 ⁶
ultrabasische Gesteine	20,0 ³
basische Gesteine	24,0 ²
intermediäre Gesteine	26,0 ¹
granitische Gesteine	32,3 ²
Tonschiefer	27,5 ⁵
Sandsteine	36,8 ³
Karbonatgesteine	2,4 ³
Unterböden	31,8 ⁴

Wichtige Siliciumminerale

Quarz (47 % Si), Cordierit (ca. 50 %), Prehnit (43,7 %), Albit (32 %), Anorthit (30 %), Orthoklas (30 %), Talk (30 %), Enstatit (28 %), Amphibole (28 %), Hypersthen (26 %), Pyroxene (26 %), Analcim (26 %), Biotit (25 %), Kaolinit (22 %), Muskovit (21 %), Serpentin (20 %), Olivin (20 %), Granat (19 %), Epidot (19 %).

Silicium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Apatit	1.000
Coelestin	10
Cubanit	bis 15.000
Diamant	10
Diaspor	bis 14.000
Gibbsit	bis 15.000
Goethit	100
Gold	10
Hämatit	100
Ilmenit	100
Malachit	100
Manganit	1.000
Monazit	bis 27.000
Perowskit	bis 9.000
Rubin	10
Saphir	100

Technogene Herkunft

Verwendung in der Halbleiterindustrie, Glaserzeugung, Feuerfestindustrie, als Desoxidationsmittel bei der Herstellung von Kupferlegierungen, zur Erhöhung der Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Stahl, in Zement, als Quarzsand in der Bauindustrie etc. Natürliche Siliciumquellen dominieren.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Bioelement. Silicium gilt generell als inert und nicht toxisch. Quarzstaub ist Verursacher der Silikose. Siliciummangel kann zu Wachstumsstörungen führen; unter allen Redox- und pH-Bedingungen niedrige Mobilität.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

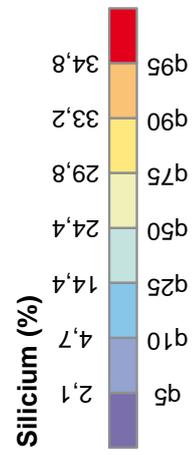
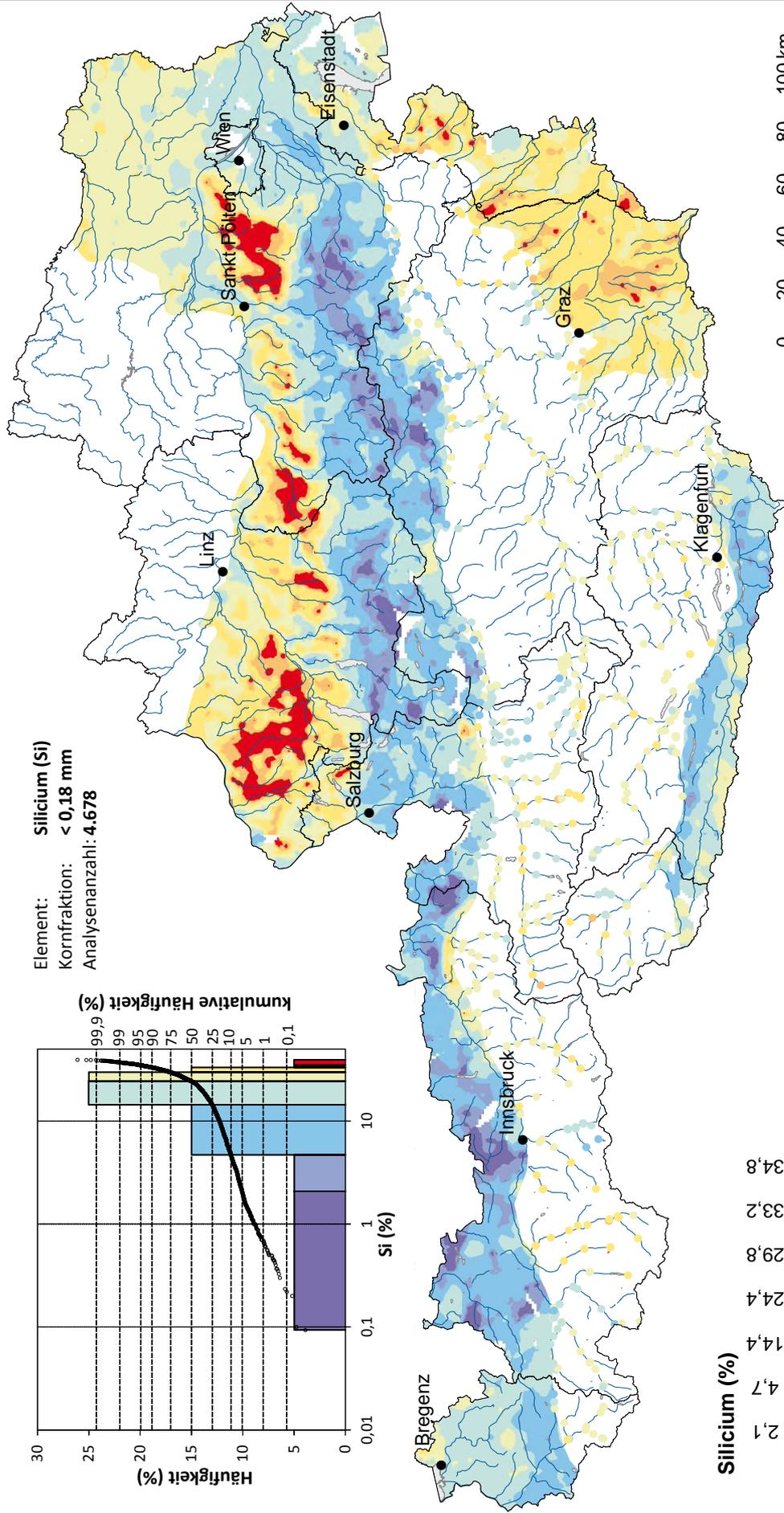
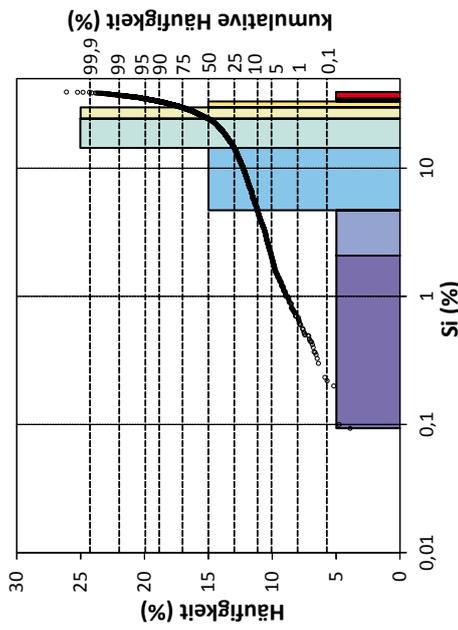


Abb. 127.
Siliciumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

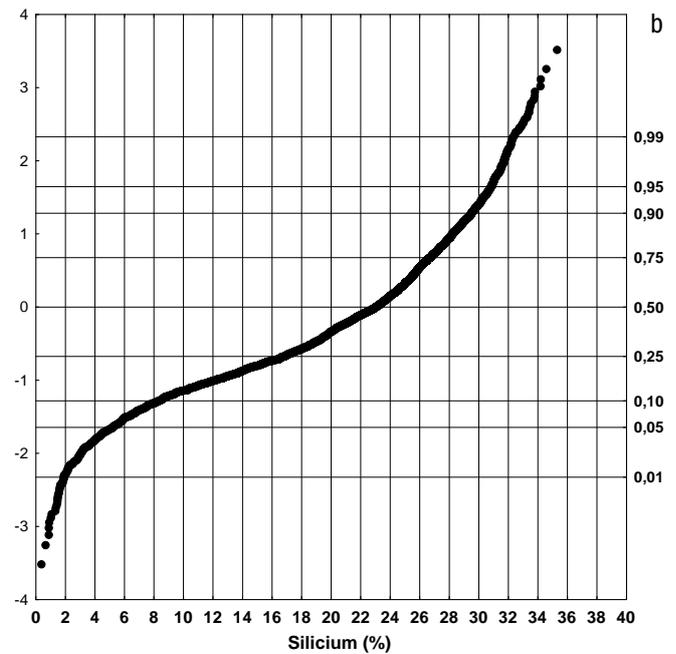
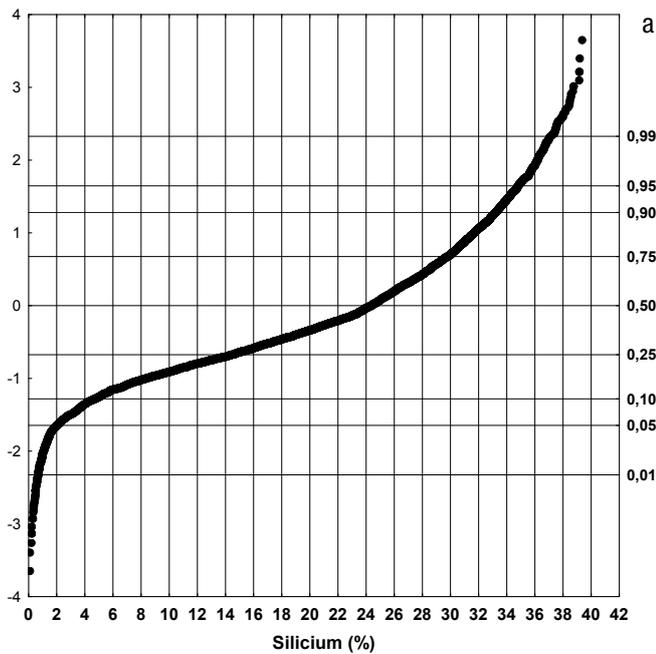


Abb. 128.
Kumulative Häufigkeitsverteilung für Silicium in %; Bundesländerprojekte < 0,18 mm (a) bzw. < 0,04 mm (b).

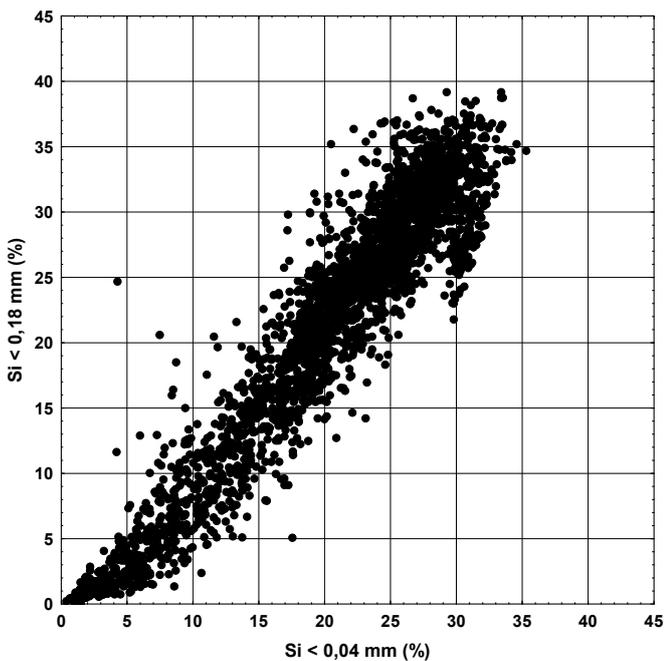


Abb. 129.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Silicium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Entsprechende Analyseergebnisse für das Element Silicium an der Kornfraktion < 0,18 mm liegen seit der Durchführung der Bundesländerprojekte vor.

Silicium ist das Hauptelement mit den höchsten Konzentrationen in den Bach- und Flusssedimenten. Das erklärt sich aus der Tatsache, dass die meisten gesteinsbildenden

Minerale in den kristallinen Serien Silikate sind. Darüber hinaus ist Quarz (außerhalb der Karbonatgebiete) fast immer das häufigste Mineral in den Bachsedimenten. Dies spiegelt sich in der räumlichen Verteilung von Silicium wider, welche die Verbreitung der geologischen Haupteinheiten nachzeichnet. Die Muster der Si-Verteilung stehen etwa reziprok zu den Mustern der Ca-Verteilung (siehe auch eindeutig negative Korrelation im Scatterplot, Abb. 130).

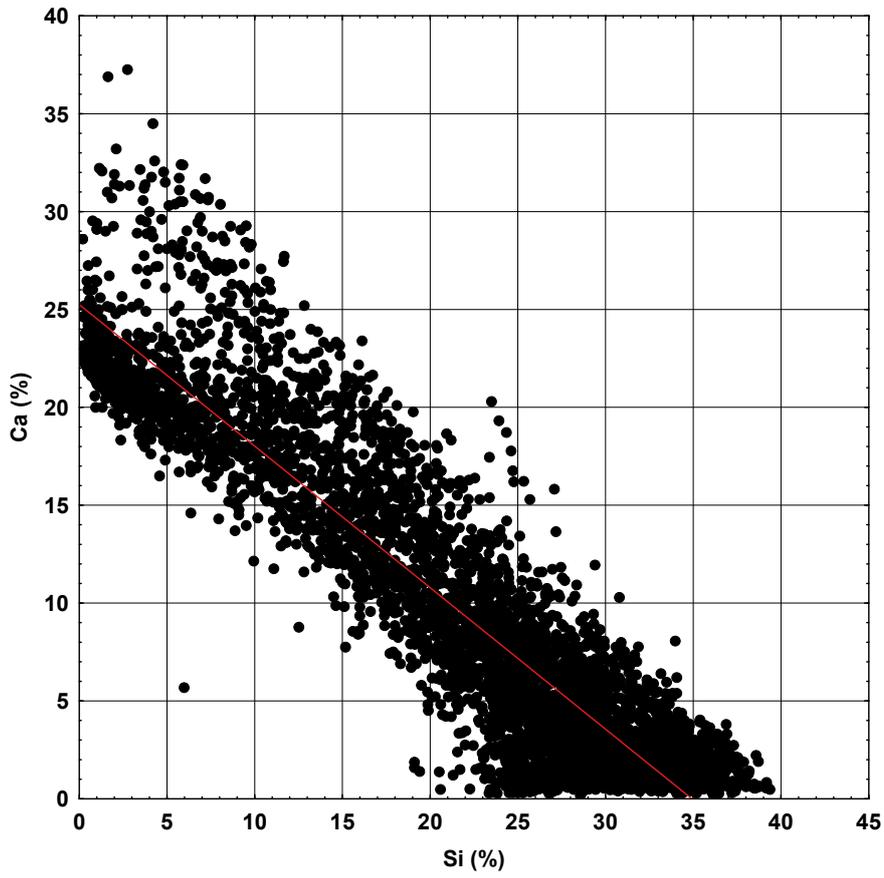


Abb. 130.
Bachsedimentgeochemie < 0,18 mm, Bundesländer-
projekte; Korrelation Silicium/Kalzium.

Sn – Zinn (Abb. 131–133)

Geogene Herkunft

Siderophiles Spurenelement; mobil in fluiden Restlösungen von sauren Magmen; starke Tendenz zur Ausbildung geochemischer Zinnprovinzen. In Mineralform vor allem als Kassiterit SnO_2 und Stannit $\text{Cu}_2\text{FeZnS}_4$ ausgebildet; Spurenelement in Biotit, Muskovit, Amphibolen, Rutil, Turmalin und Magnetit.

Häufigkeit (Sn in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	2,2 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,5 ³
basische Gesteine	1,0 ²
intermediäre Gesteine	1,5 ²
granitische Gesteine	3,0 ²
Tonschiefer	3 ⁵
Sandsteine	0,X ³
Karbonatgesteine	0,X ³
Unterböden	3 ⁴

Wichtige Zinnminerale

Cassiterit (79 % Sn), Stannin (bis 27,6 %), Hydrocassiterit, Teallit (bis 30,5 %), Herzenbergit (bis 78 %), Franckit (bis 17 %), Kylendrit (bis 26,5 %), Malayit (45 %), Columbit (2–9 %).

Zinn als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Almandin	10
Anatas	100
Äschynit	bis 2.000 (SnO_2)
Axinit	100
Biotit	10
Chalkopyrit	bis 770
Colusit	bis 67.000
Galenit	bis 1.300
Ilvait	100
Magnetit	10
Manganit	10
Pyrit	bis 400
Pyrochlor	bis 40.000
Rutil	bis 12.000
Samarskit	bis 9.500
Sperryolith	bis 36.000
Sphalerit	bis 10.000
Titanit	10
Turmalin	10
Vesuvian	100
Wolframit	100
Wurzit	10
Zirkon	bis 4.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Legierungen (Bronzen, Britanniametall, Weichlot, Lagermetalle), für verzinnete Eisenbleche, Fungizide, Insektizide, Bakterizide, Stabilisator in PVC, Konservendosen, Metallfolien, Lötzinn, Farben (speziell für Schiffe), als Amalgame in der Zahntechnik. Verbreitung in der Umwelt durch Verbrennung von Kohle und Holz, Müllverbrennung, durch Klärschlamm, Pestizide und Holzschutzmittel.

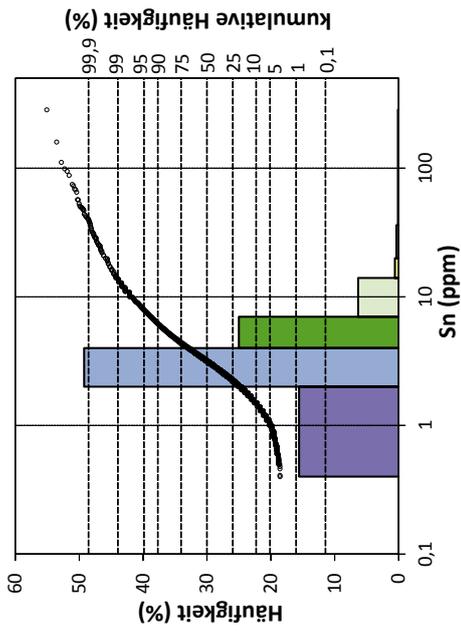
Verhalten in der Umwelt

Möglicherweise essenzielles Spurenelement für manche Organismen (auch für den Menschen). Anorganische Zinnverbindungen und metallisches Zinn sind nicht bis kaum toxisch, organische Zinnverbindungen vor allem für niedere Lebewesen hochtoxisch.

Mobilität von Zinn unter allen Redox- und pH-Bedingungen sehr gering; vor allem in der Feinfraktion und Schwermineralfraktion der Bachsedimente vorhanden; Kassiterit ist sehr beständiges Schwermineral in den Bachsedimenten.

² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Zinn (Sn)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.219

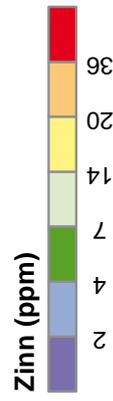
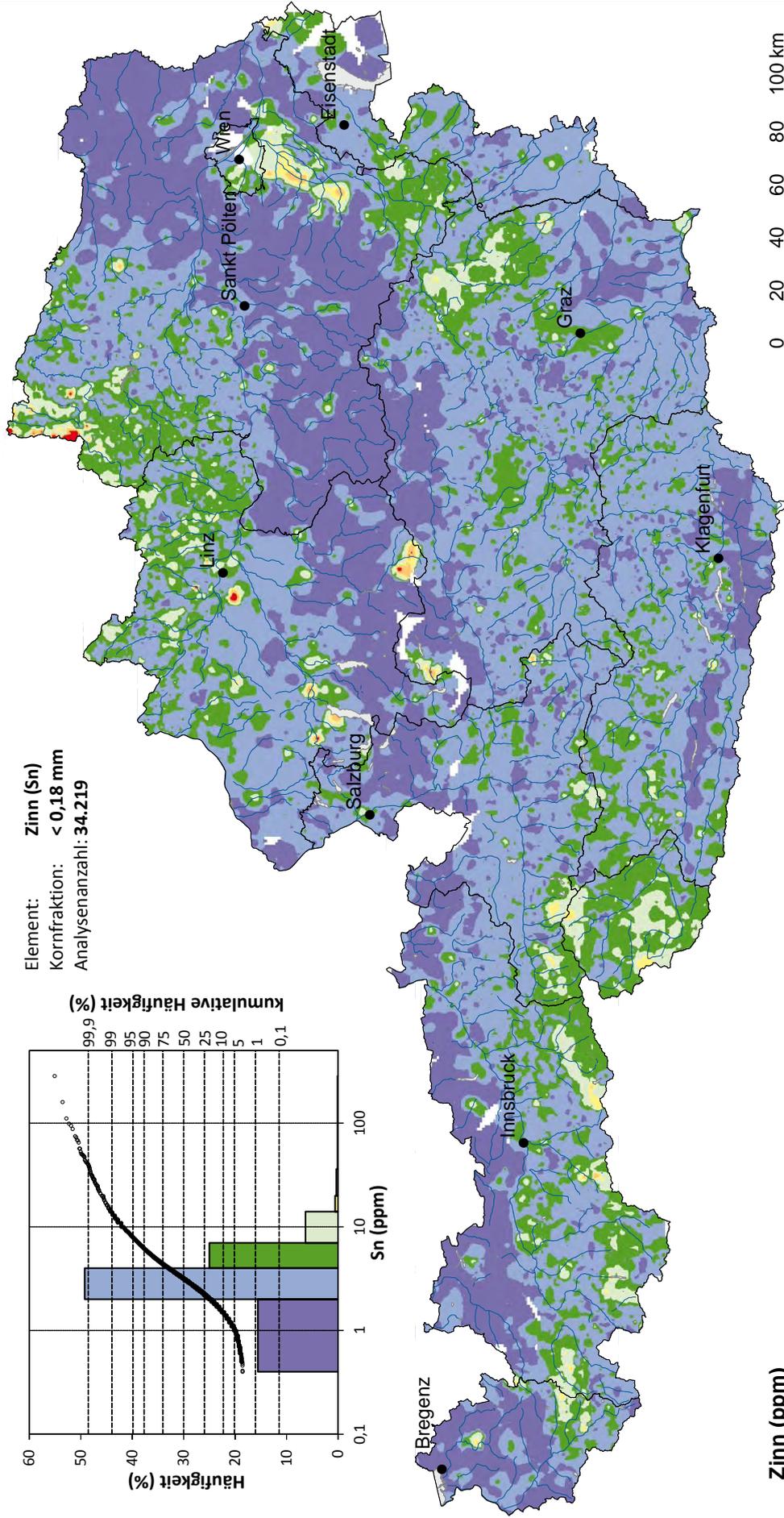


Abb. 131.
 Zinnverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

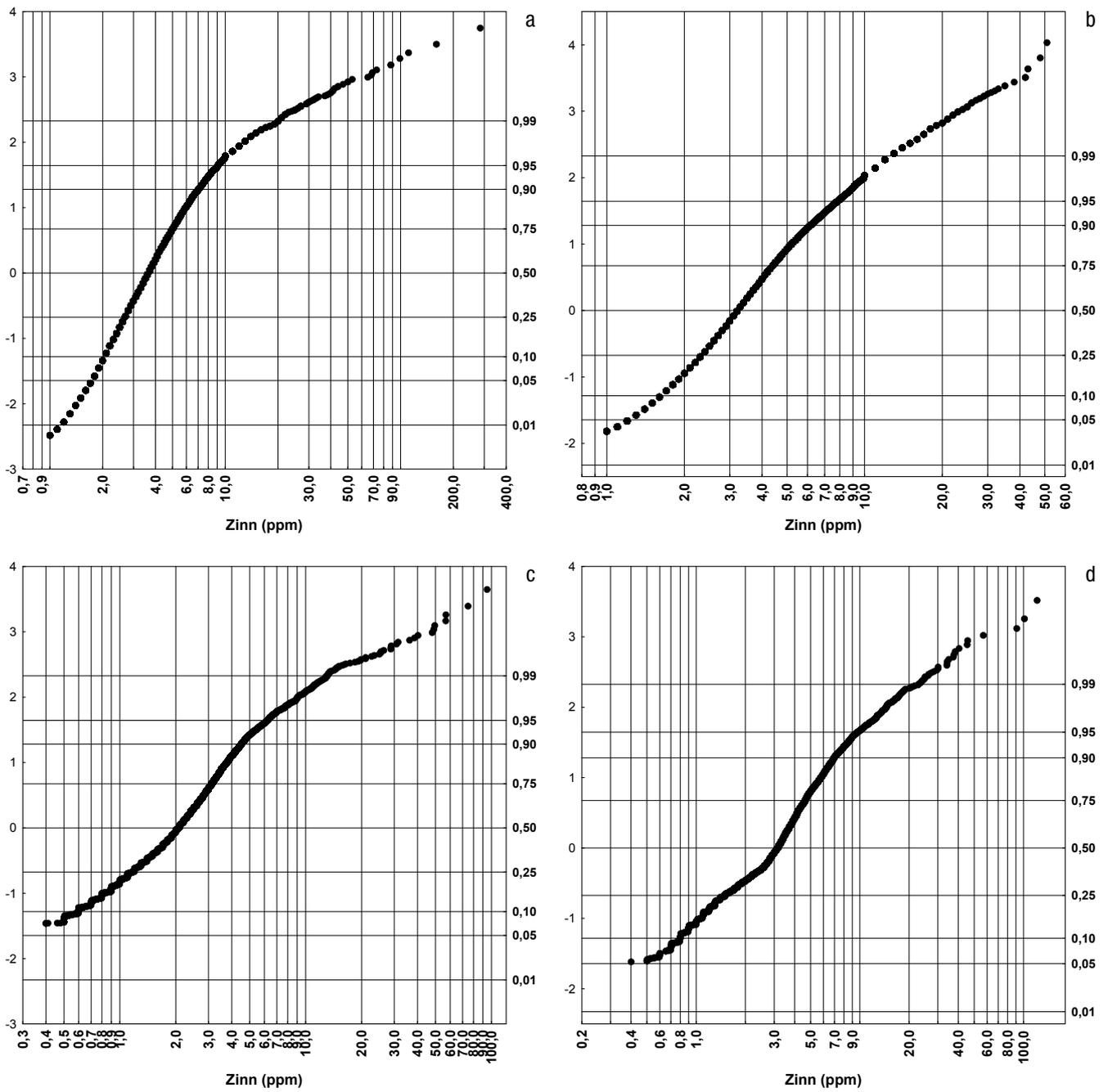


Abb. 132. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Zinn in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

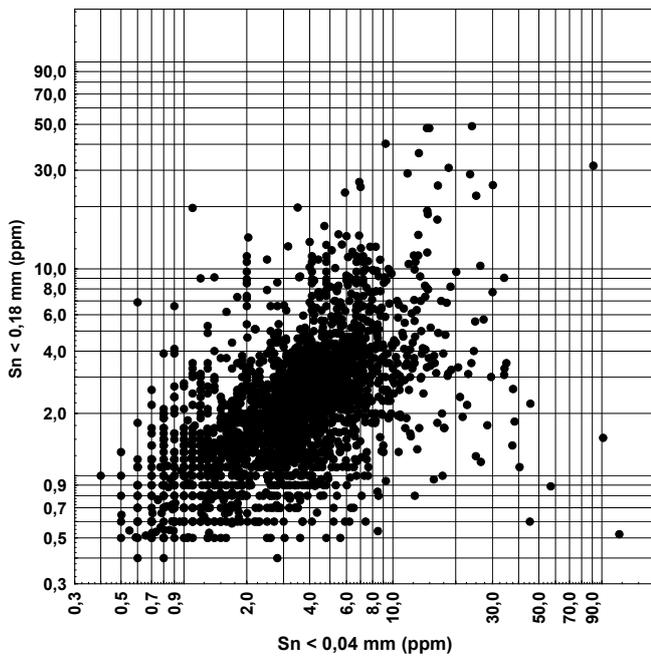


Abb. 133.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Zinn (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Über Sn-Verteilungen in alpinen Gesteinsserien liegen kaum Erfahrungen oder Detailarbeiten vor. Deshalb ist eine Interpretation der Daten aus der Bachsedimentgeochemie relativ schwierig.

Eindeutig sind in der Böhmisches Masse Zinn-„Anomalien“ im nördlichen Waldviertel Greisenbildungen im Umfeld jüngerer Granitintrusionen zuzuordnen.

Unterschiedliche geogene Grundgehalte sind zwar nach der Bachsedimentgeochemie in unterschiedlichen ostal-

pinen kristallinen Serien möglich, sollten aber durch gesteinsgeochemische Analysen untermauert werden.

Da in den Bachsedimenten < 0,18 mm isoliert an einer Reihe von Probepunkten höhere Konzentrationen (> 20 ppm) gemessen wurden, besteht die Wahrscheinlichkeit, dass diese Konzentrationen durch Nuggeteffekte geogener oder technogener Sn-führender Partikel erzeugt werden. Diese Phänomene wären in gezielten Detailarbeiten abzuklären.

Kleinregional sind technogene Sn-Einträge an Flüssen im südlichen Wiener Becken nachgewiesen.

Sr – Strontium (Abb. 134–136)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement, getarnt durch Kalzium und Barium, sowie im magmatogenen Milieu abgefangen durch Kalium. Sr-Mineralen sind relativ selten (Strontianit SrCO_3 , Coelestin SrSO_4); als Spuren- bis Nebenelement in Calcit, Gips, Baryt, Alkalifeldspäten, Pyroxenen und Glimmer.

Häufigkeit (Sr in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	320 ⁶
ultrabasische Gesteine	1 ³
basische Gesteine	465 ²
intermediäre Gesteine	800 ¹
granitische Gesteine	285 ²
Tonschiefer	170 ⁵
Sandsteine	20 ³
Karbonatgesteine	610 ³
Unterböden	95 ⁴

Wichtige Strontiumminerale

Strontianit (59,3 % Sr), Coelestin (47,7 %), Strontiumapatit, Goyazit, Ankylit.

Strontium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Albit	bis 1.900
Amphibole	1.000
Apatit	100
Aragonit	bis 56.000
Baryt	bis 120.000
Calcit	1.000
Fluorit	100
Gips	100
Kalifeldspäte	Ø 200
Loparit	bis 34.000
Plagioklase	100
Pyroxene	100
Witherit	1.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Legierungen (Zn), der Zn-Elektrolyse, Elektroindustrie, pyrotechnischen Produkten, der keramischen Industrie bei der Herstellung von Spezial-Schmierstoffen, Farben, Sr-Metall für Magnetherstellung und für Farbfernsehbildschirme. Technische Bedeutung gering. Technische Verbreitung in der Umwelt eher gering; erhöht im Bereich der Zinkverhüttung und von Aschendeponien aus der Kohleverfeuerung bzw. Müllverbrennung.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement für die meisten Organismen. Nicht radioaktive Sr-Isotope sind unbedenklich, Strontium substituiert Kalzium und ist in dessen Gegenwart kaum giftig.

Hohe Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen. Strontium ersetzt Kalzium in Ca-haltigen Mineralen; in Bachsedimenten der Granitgebiete geht Strontium teils mit Kalium in die Grobfraction, teils mit Kalzium in die Feinfraktion. 80 % des Sr-Eintrags in die Ozeane stammt aus der Verwitterung von Karbonaten und Sulfaten.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

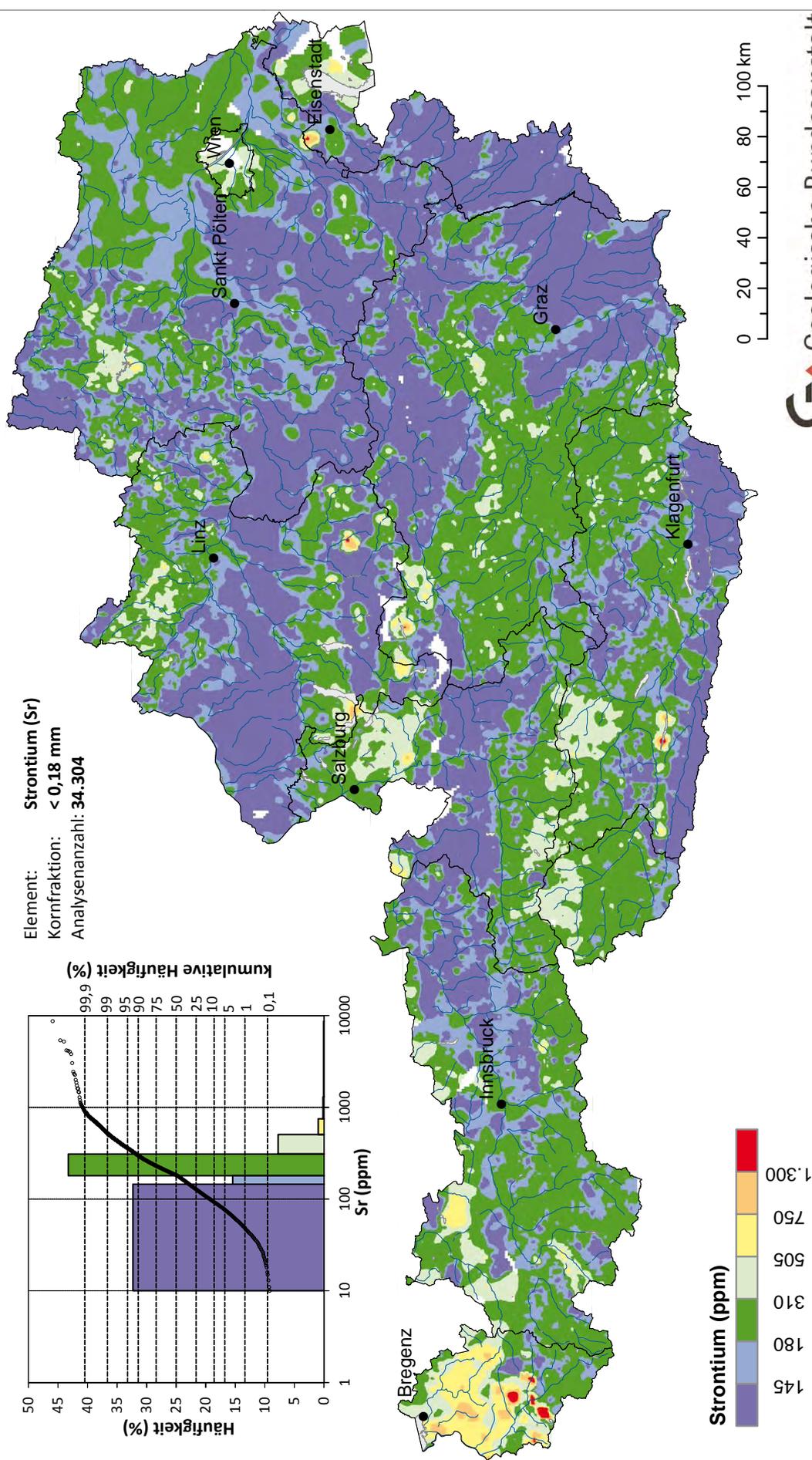
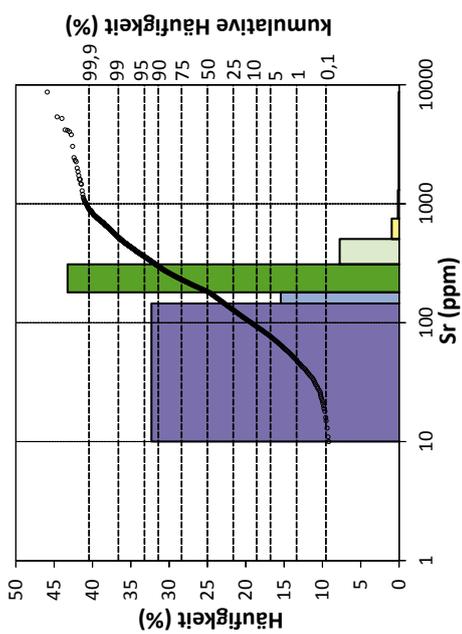


Abb. 134. Strontiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

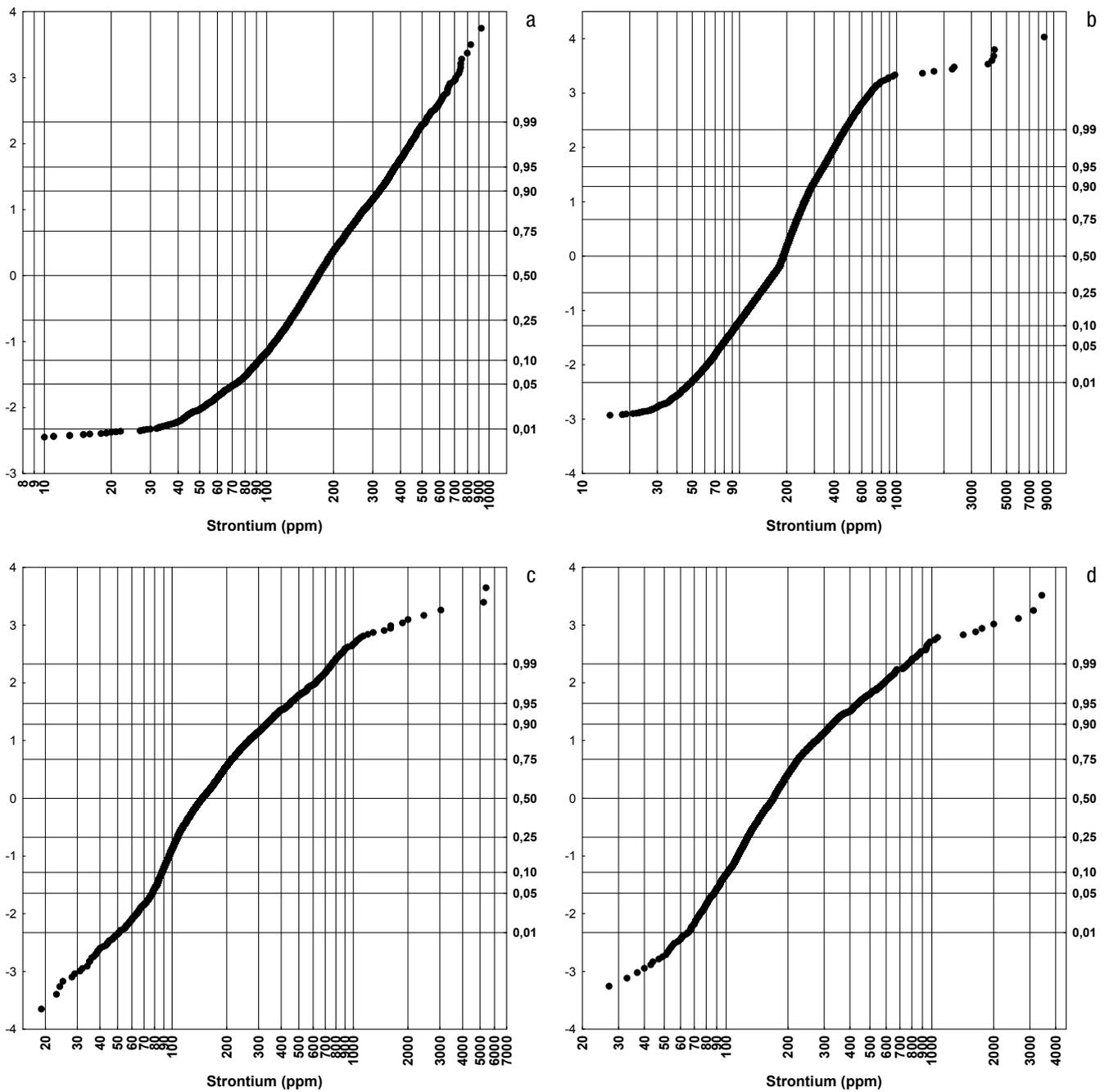


Abb. 135. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Strontium in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

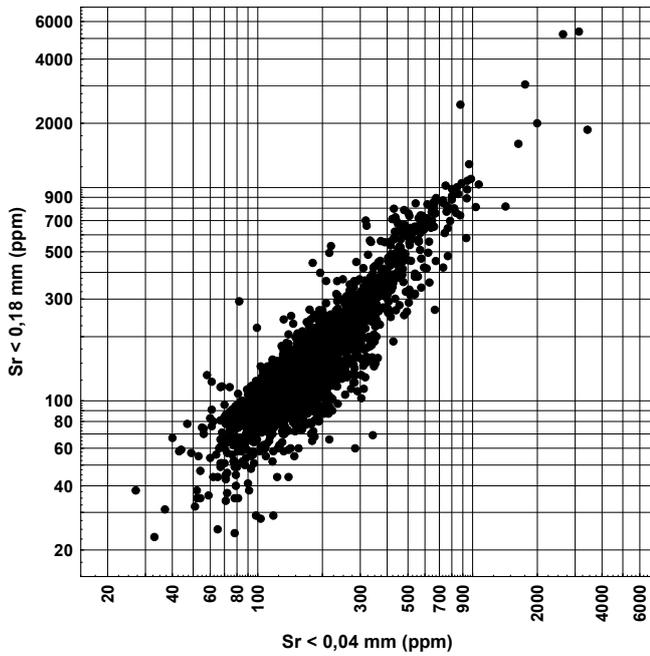


Abb. 136.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Strontium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Strontium ist als Spuren- und Nebenbestandteil von gesteinsbildenden Mineralen wie Calcit, Feldspäten oder Gips mit den entsprechenden Serien verknüpft. Das zeigt sich in den höheren Grundgehalten von Kalkstein- oder Marmor führenden Serien im ostalpinen Kris-

tallin (ca. 200 bis 500 ppm). Ähnliches gilt auch für bestimmte Kristallinserien mit höheren Sr-Konzentrationen in Feldspäten und Glimmern. In den Karbonatgebieten sind verbreitet auch Sr-Konzentrationen $> 500 \text{ ppm}$. Hohe Konzentrationen ($> 750 \text{ ppm}$) verweisen direkt auf Gips-/Anhydrit-Vorkommen (z.B. Klostertal/Montafon, Grundlsee, westlicher Drauzug).

Th – Thorium (Abb. 137–139)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; in magmatischen Gesteinen vorwiegend an akzessorische Minerale gebunden. Assoziationen mit Uran in Pegmatiten, in Alkaligesteinen und Karbonatiten mit Cer, Lanthan und anderen Elementen der Seltenen Erden; in Seifenlagerstätten häufig an Monazit gebunden.

Häufigkeit (Th in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	10,5 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,005 ²
basische Gesteine	2,2 ²
intermediäre Gesteine	0,7 ¹
granitische Gesteine	17 ²
Tonschiefer	12 ⁵
Sandsteine	1,6 ³
Karbonatgesteine	0,2 ³

Wichtige Thoriumminerale

Thorianit (88 % Th), Thorit (72 % Th), Äschynit (11,2–17,5 % ThO₂), Monazit (bis 10 % ThO₂), Uraninit (bis 7,5 % ThO₂), Brannerit (7 % Th).

Thorium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Allanit	bis 1,8 %
Perowskit	1.000
Pyrochlor	0–5 % ThO ₂
Samarskit	0–4,23 % ThO ₂
Zirkon	bis 1,9 % Th

Technogene Herkunft

Verwendungen in Sonderlegierungen, mit Magnesium legiert als Kernreaktorwerkstoff in der Nuklearindustrie, in Mischung mit Uran zur Gewinnung von Atomenergie, für hochfeuerfestes Material (für Heizdrähte elektrischer Öfen, als Th-Oxid im Gasglühlichtstrumpf) und Katalysator. Eintrag in die Umwelt über P-Düngung, Kohlefeuerung, Verhüttung und Weiterverarbeitung von Uranerzen.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement für Organismen; chemotoxisch und radiotoxisch; alle Isotope sind α -Strahler. Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen aufgrund des Einbaus in sehr verwitterungsresistenten Mineralen (z.B. Monazit, Zirkon) sehr gering; findet sich in den Bachsedimenten hauptsächlich in der Schwermineralfraktion.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

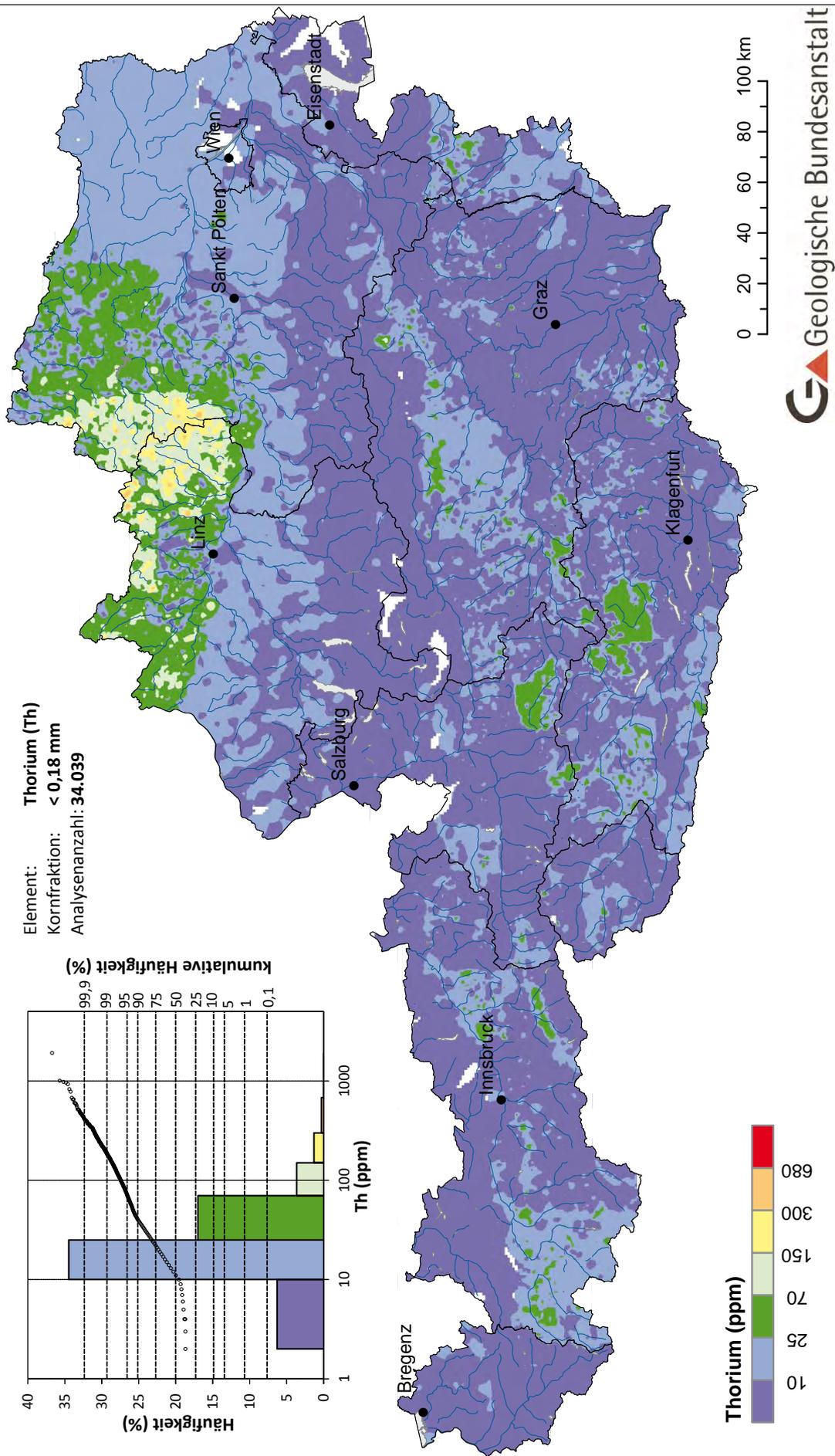
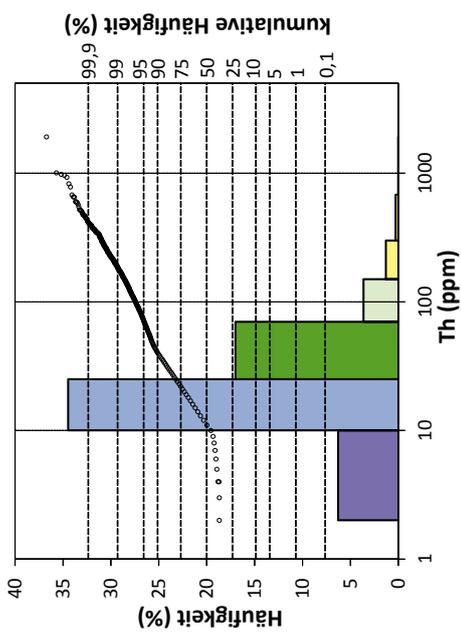


Abb. 137. Thoriumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

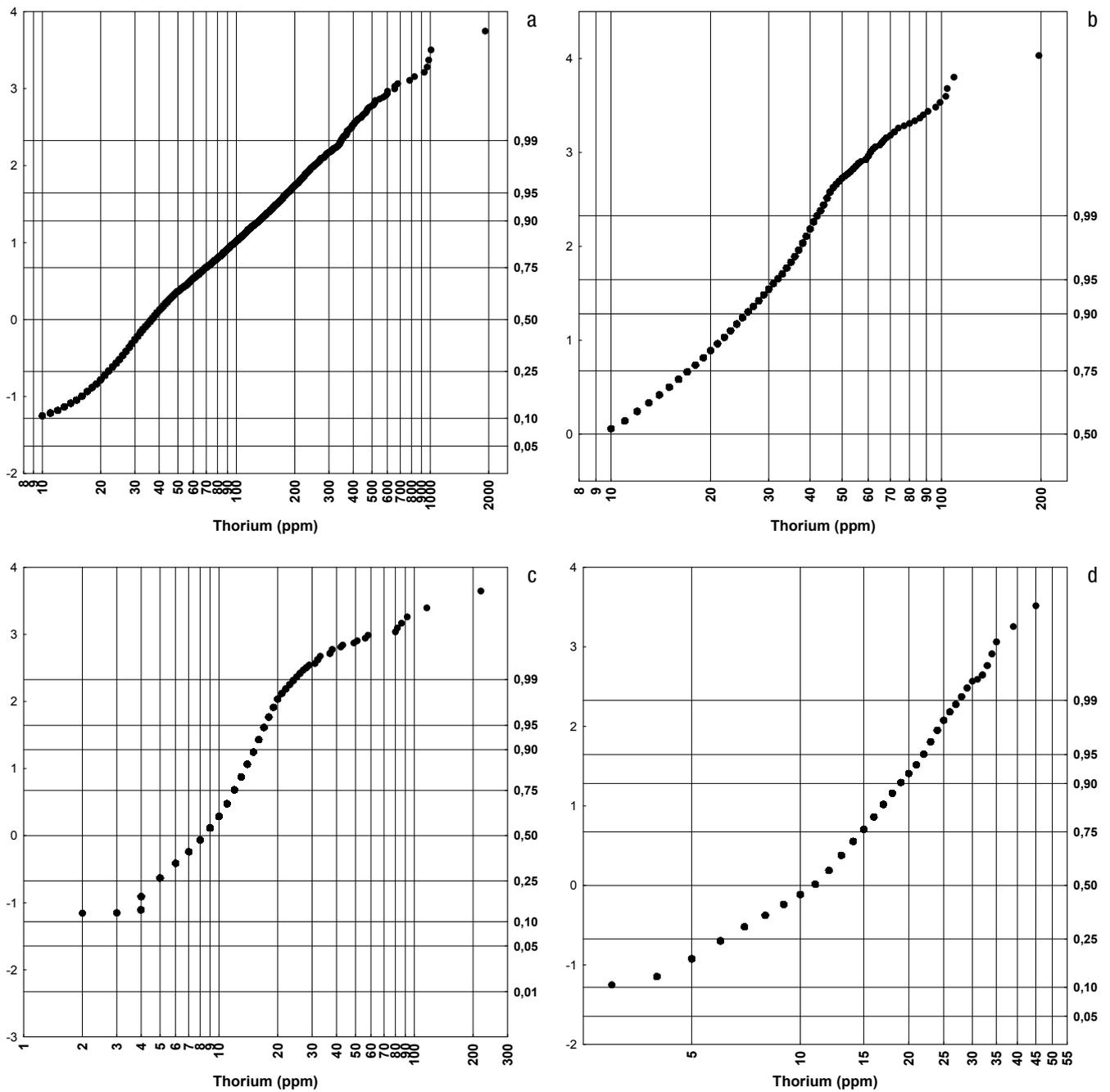


Abb. 138. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Thorium in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

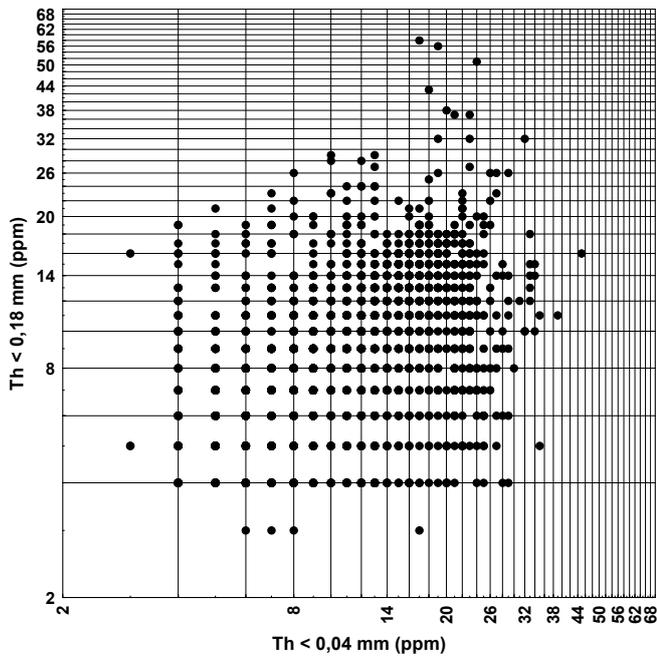


Abb. 139.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Thorium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Thorium ist geogen überwiegend an Schwerminerale gebunden und dadurch meist mit Cer oder Lanthan korreliert. Lithologisch sind höhere Konzentrationen verknüpft mit Graniten, Granitoiden sowie entsprechenden Migmatiten.

In der Böhmischen Masse finden sich praktisch flächendeckend höhere Grundgehalte zwischen 30 und 150 pp sowie einige kleinräumigere, sehr hohe Konzentrationen zwischen 150 und 650 ppm, direkt verknüpft mit dem Vorkommen von Graniten.

In der Zentralzone sind nur kleinregional etwas höhere Grundgehalte (bis ca. 70 ppm) zu finden.

Ti – Titan (Abb. 140–142)

Geogene Herkunft

Lithophiles Nebenelement; Konzentrationsanstieg mit Alkalisierung der Magmen. In Gesteinen starke Tendenz zur Bildung akzessorischer Minerale. Im Zuge magmatogener Lagerstättenbildung angereichert in oxidischen Mineralbildungen. Sedimentäre Konzentration in rezenten und fossilen Seifen. Ti-Mineralie treten überwiegend in Schwermineralen auf: Ilmenit FeTiO_3 , Rutil, Anatas, Brookit TiO_2 , Titanit CaTiSiO_5 und Perowskit. Als Spurenelement in Amphibolen, Pyroxenen und Glimmermineralen, substituiert dort Fe^{2+} und Mg^{2+} .

Häufigkeit (Ti in M-%)

obere kontinentale Erdkruste	0,36 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,03 ³
basische Gesteine	0,9 ²
intermediäre Gesteine	0,8 ¹
granitische Gesteine	0,23 ²
Tonschiefer	4,6 ⁵
Sandsteine	0,15 ³
Karbonatgesteine	0,04 ³
Unterböden	0,33 ⁴

Wichtige Titanminerale

Rutil (60 % Ti), Anatas (60 %), Brookit (60 %), Perowskit (35 %), Ilmenit (32 %), Sphen (24 %), Brannerit (23 %), Pyrochlor (bis 10 %), Euxenit (bis 10 %).

Titan als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Aktinolith	1.000
Allanit	bis 12.000
Amphibole	1.000
Augit	bis 50.000
Axinit	bis 50.000
Basaltische Hornblende	bis 34.000
Biotit	bis 100.000
Boehmit	1.000
Cassiterit	1.000
Chamosit	bis 11.000 TiO_2
Chloritoid	bis 15.000
Chromit	1.000
Chrysoberyll	bis 18.000
Cyanit	1.000
Hämatit	1.000
Illit	bis 13.000
Jadeit	1.000
Magnetit	bis 25.000
Muskovit	bis 23.000
Phlogopit	bis 12.000
Pyrop	1.000
Pyroxene	bis 40.000
Topas	1.000
Tremolit	1.000
Vermiculit	bis 11.000
Vesuvian	bis 28.000

Technogene Herkunft

Aufgrund seiner Eigenschaften ein vielseitig einsetzbarer Werkstoff vor allem in Speziallegierungen (rostfreier Stahl, Schneid- und Bohr Stahl, Düsenmotoren, Flugzeugbau, Raketentechnik u.a.); Haupteinsatzgebiet für oxidische Pigmente in der Farben-, Kunststoff-, Papier-, Keramik- und Lebensmittelindustrie; Verwendung von metallischem Titan zur Herstellung von beispielsweise Elektrodenüberzügen. Technologischer Eintrag auf Grund der hohen geochemischen Häufigkeit nicht erkennbar.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Bioelement; wird aufgrund der geringen Absorption und Retention in Organismen als nicht toxisch eingestuft. Sehr geringe Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen; geringe Verwitterbarkeit Ti-führender Minerale; Auftreten vor allem in der Schwermineralfraktion der Bachsedimente.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

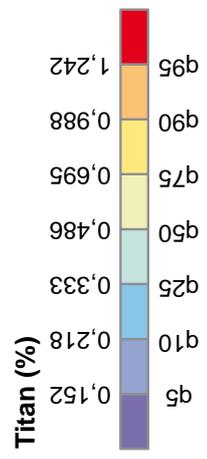
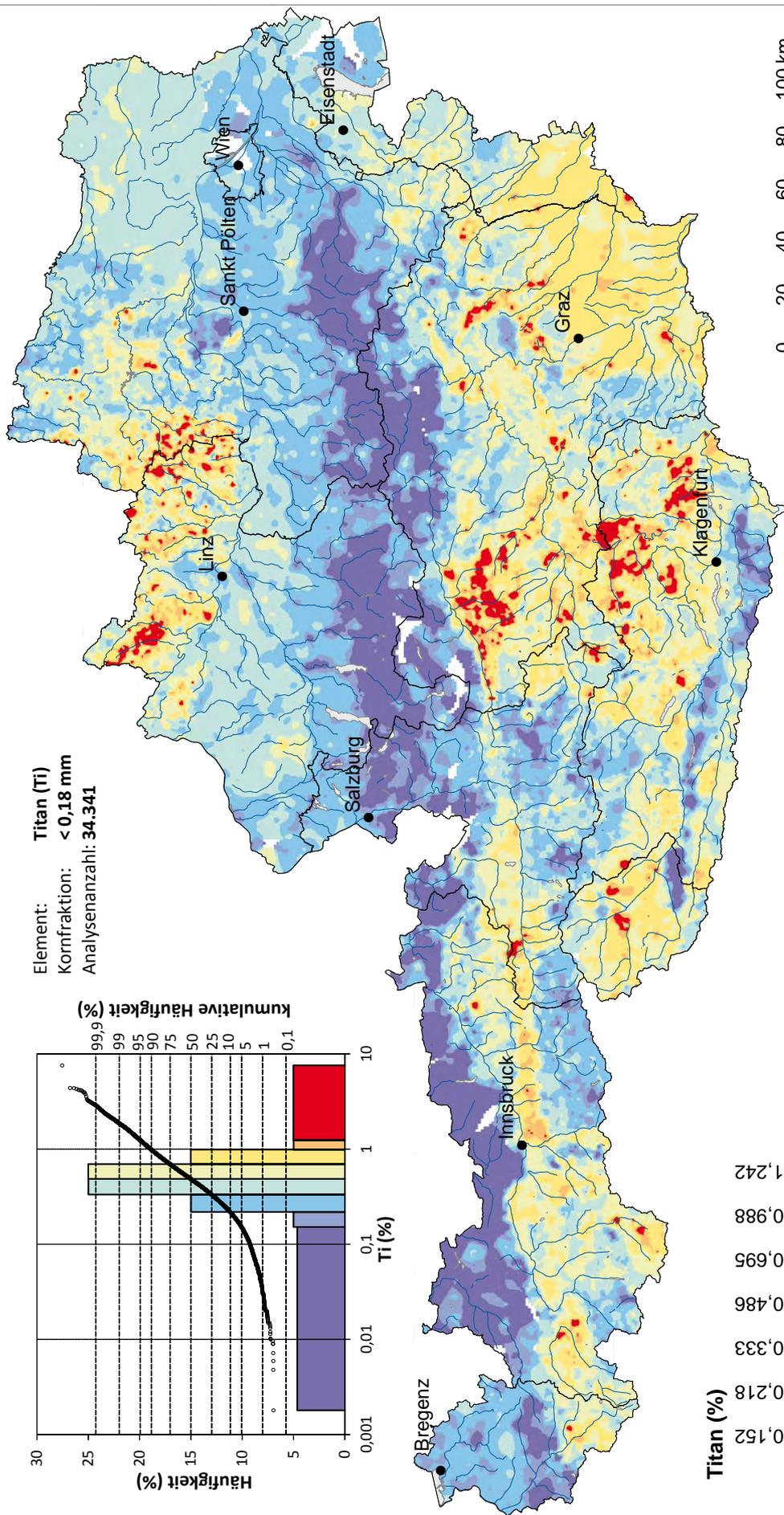
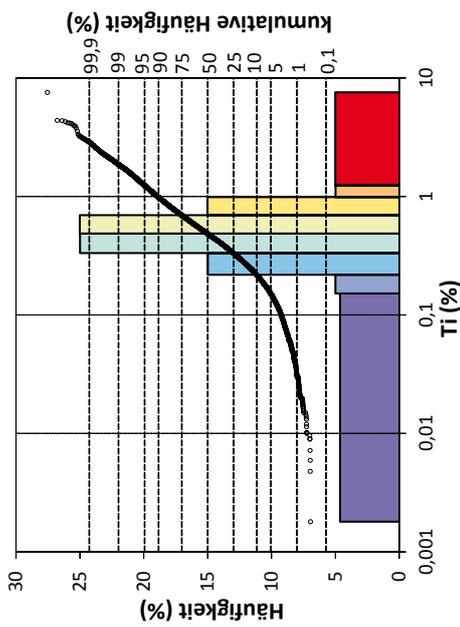


Abb. 140. Titanverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

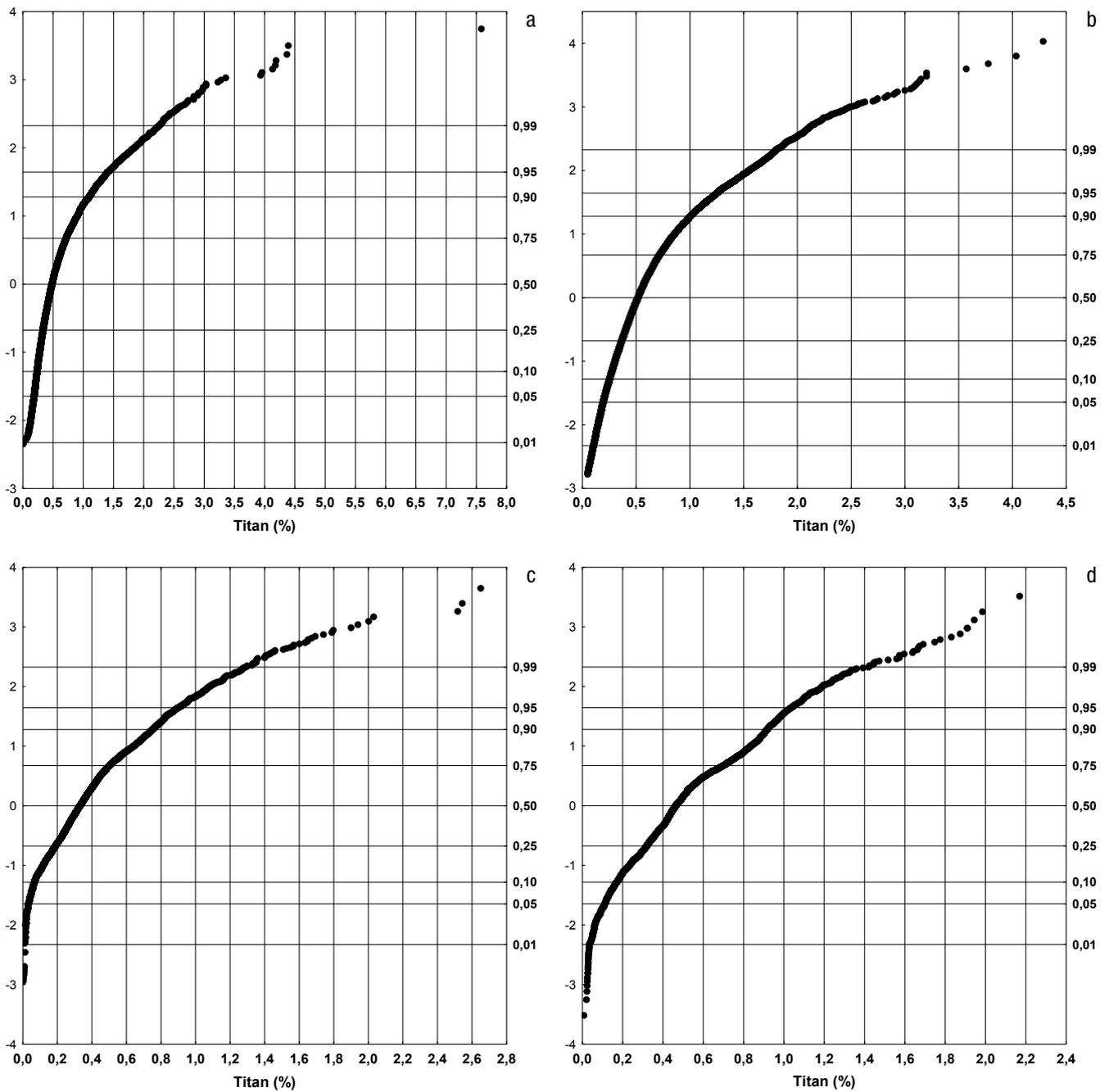


Abb. 141. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Titan in %; Böhmische Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

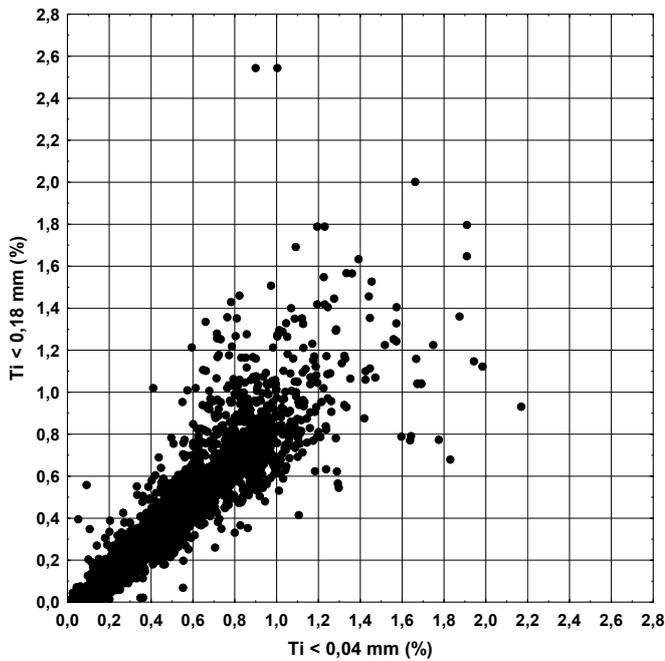


Abb. 142.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Titan (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Titan ist mineralogisch-geochemisch mit den Mineralen Rutil und Titanit sowie als häufiges Spurenelement in Amphibolen, Pyroxenen und Glimmern mit basischen Gesteinsserien verknüpft. So finden sich in diesen Gesteinsserien durchwegs höhere Grundgehalte (bis

1 %) und kleinregional auch höhere Konzentrationen (bis 2 %). Minima und sehr niedrige Grundgehalte von Titan ($< 0,5 \%$) sind in Flysch, Helvetikum, Kalkalpen, Drauzug und Karawanken anzutreffen. Solche niedrige Grundgehalte finden sich auch in Karbonat führenden Serien des Engadin, der Hohen Tauern sowie des Grazer Paläozoikums.

U – Uran (Abb. 143–144)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; angereichert mit der Alkalisierung der Magmen in der kontinentalen Kruste; Begleitelement des Thoriums ($\text{Th}/\text{U} = 4$); Abtrennung erfolgt durch hydrothermale und sedimentäre Prozesse; in Pegmatiten und hydrothermalen Mineralisationen oft assoziiert mit Silber, Arsen, Nickel, Cobalt und Bismut; in schichtgebundenen sedimentären Lagerstätten, Konglomeraten und Sandsteinen; in Phosphoriten und Schwarzschiefern vergesellschaftet mit Phosphor, Arsen, Vanadium, Molybdän, Selen, Blei und Kupfer.

Die wesentlichen Uranminerale sind Uraninit UO_2 , Pechblende U_3O_8 und Carnotit $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; Spurenbis Nebenelement in Schwermineralen wie Zirkon, Apatit, Allanit und Monazit.

Häufigkeit (U in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	2,6 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,001 ³
basische Gesteine	0,6 ²
intermediäre Gesteine	1,8 ¹
granitische Gesteine	4,8 ⁶
Tonschiefer	2,7 ⁵
Sandsteine	0,45 ³
Karbonatgesteine	2,2 ³
Unterböden	2 ⁴

Wichtige Uranminerale

Uraninit (50–85 % U_3O_8), Uranophan (56 % U), Carnotit (55 % U), Torbernit (51 % U), Autunit (50 % U), Brannerit (41 % U), Schröckingerit (bis 30 % U_3O_8), Urano-Thorianit (15 % und mehr U_3O_8), Thorit (bis 20 % U_3O_8), Tucholit (asphaltartige komplexe Verbindungen), Gummit (Gemenge von Pb-Uranyl-Oxiden und Th, bis 80 % U_3O_8).

Uran als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Apatit	X00
Biotit	10
Epidot	X00
Monazit	bis 34.000
Titanit	100
Xenotim	bis 50.000 UO_2
Zirkon	bis 15.000 U_3O_8

Technogene Herkunft

Verwendung in der Nuklearindustrie, in Nuklearwaffen und Munition sowie in der Glaserzeugung; Eintrag in die Umwelt durch Uranerzverhüttung und -verarbeitung, P-Düngung, Kohlefeuerung, Einsatz uranhaltiger Munition.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Element für Organismen; chemotoxisch und radiotoxisch; alle natürlichen Isotope sind α -Strahler. Unter oxidierenden Bedingungen ist Uran hoch mobil; im reduzierenden Milieu sehr geringe Mobilität, unter sauren pH-Bedingungen hohe Mobilität und unter basischen Bedingungen sehr hohe Mobilität. Uran wird an die organische Substanz sowie an Fe-Hydroxide gebunden; Fällung im reduzierenden Milieu; in Bachsedimenten vor allem in der verwitterungsbeständigen Schwermineralfraktion vertreten.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

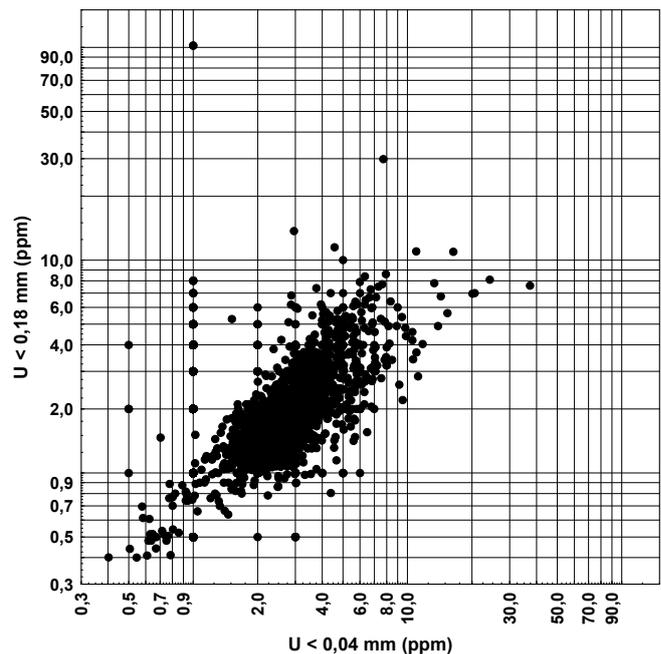


Abb. 143. Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Uran (Bundesländerprojekte).

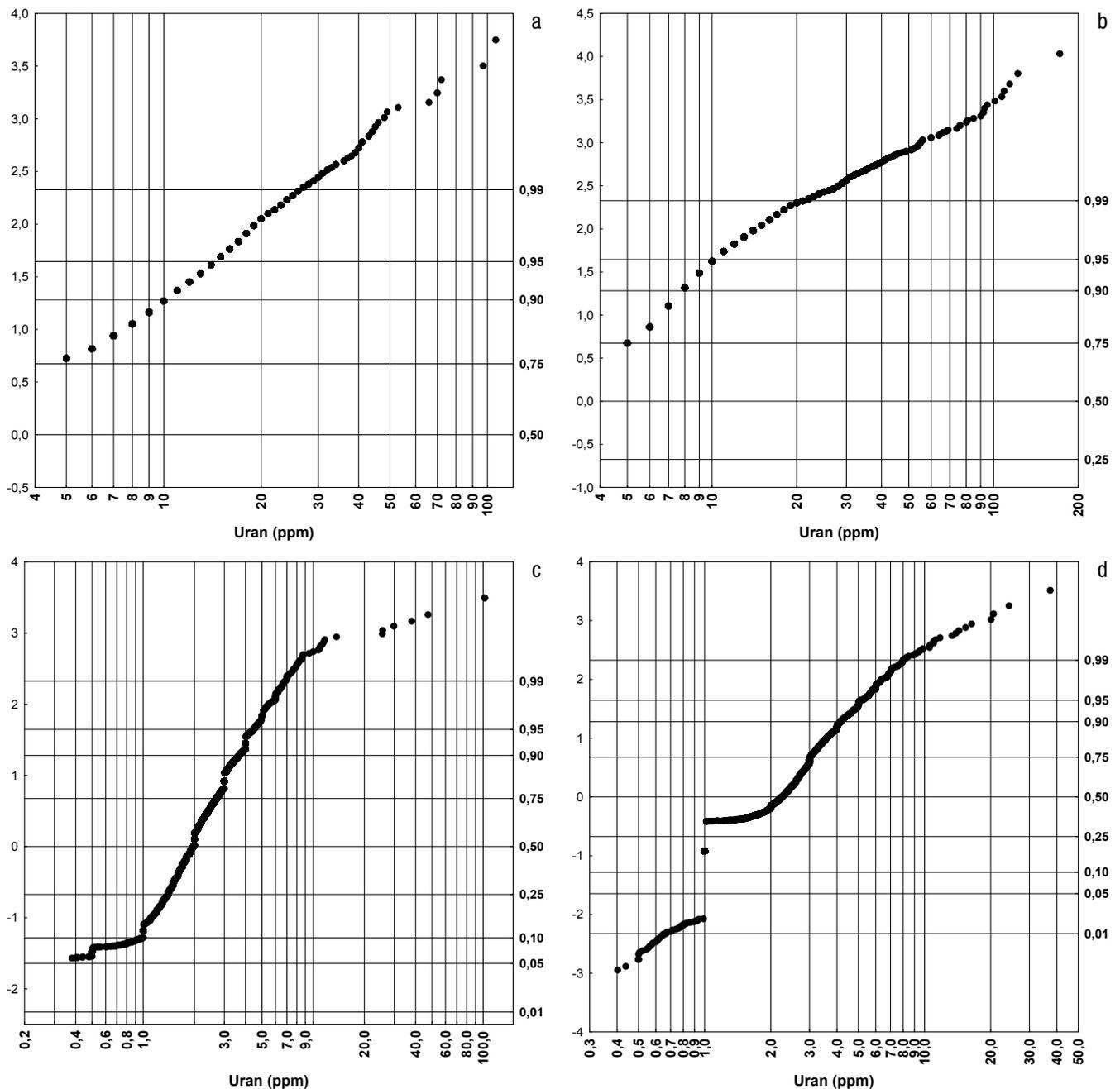


Abb. 144. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Uran in ppm; Böhmisches Massiv (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Für das Element Uran wird keine Flächendarstellung ausgeführt. Das hat seine Gründe in der Tatsache, dass einerseits im Bereich Böhmisches Massiv/Zentralzone ca. 75 % der Messdaten unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, andererseits nach der Übersichtskontrolle auch die Analyseergebnisse für die Bundesländer Ober- und Niederösterreich nicht als stabil und nicht mit den anderen Bundesländern vergleichbar eingestuft werden können.

Die Verteilung von Uran in den Bachsedimenten ist prinzipiell abhängig von den Schwermineralgehalten der Sedimente, insbesondere der an U-reichen Mineralphasen Xenotim, Monazit und Zirkon. Hohe Konzentrationen folgen hauptsächlich Orthogneisen in verschiedenen Teilen des oberostalpinen Basements (insbesondere im Silvret-

ta-Seckau- bzw. Ötztal-Bundschuh-Deckensystem). Im Subpenninikum sind es vor allem die Zentralgneiskerne mit lokalen Uran-Mineralisationen, die zu höheren U-Gehalten in den Bachsedimenten führen. Transgressiv auflagernde permomskythische Klastika sind hingegen im Bereich der östlichen Grauwackenzone (Veitsch, Radmer) als Uranlieferanten anzusehen. Einen weiteren räumlich-geologischen Schwerpunkt für höhere Uran-Gehalte bildet das Verbreitungsgebiet meist bituminöser Zwischenlagen im Hauptdolomit bzw. seiner Äquivalente in den Gailtaler Alpen. Von den über 100 bekannten Uranvorkommen/-mineralisationen sind die Uran-Lagerstätte Forstau und begleitende Uranmineralisationen (bis 15 ppm U) indiziert, während die meisten anderen Mineralisationen in der Bachsedimentgeochemie wenig bis überhaupt nicht erfasst werden.

V – Vanadium (Abb. 145–147)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; angereichert mit Eisen in basischen und intermediären Magmen; weiters assoziiert mit Titan und anderen Schwermineralelementen; Trennung vom Eisen im sedimentären Zyklus. Im Oxidationsbereich als Vanadate in limonitischen Eisenerzen, Bauxiten, Tonschiefern, Schwarzschiefern, Phosphoriten, Bitumen und Kohlen. Vanadium tritt in einer Reihe von Mineralen auf: Coulsonit FeV_2O_4 , Vanadinit $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3$, Descloizit, Carnotit, V-Magnetit; als Spurenelement in Pyroxenen, Amphibolen, Glimmer, Apatit und Rutil.

Häufigkeit (V in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	106 ⁶
ultrabasische Gesteine	40 ³
basische Gesteine	250 ²
intermediäre Gesteine	100 ¹
granitische Gesteine	20 ²
Tonschiefer	130 ⁵
Sandsteine	20 ³
Karbonatgesteine	20 ³
Unterböden	63 ⁴

Wichtige Vanadiumminerale

Descloizit (13 % V), Carnotit (13 %), Vanadinit (11 %), Tyuyamunit (19,06 % V_2O_3), Patronit (28–39 %).

Vanadium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Anatas	1.000
Augit	100
Biotit	100
Bronzit	100
Chromit	100
Fassait	1.000
Ilmenit	100
Magnetit	X.000
Muskovit	X00
Pyrit	1.000
Pyromorphit	100
Pyrop	100
Pyroxene	100
Siderit	100
Spodumen	1.000
Titanit	100
Turmalin (Dravit)	100
Wulfenit	bis 8.500

Technogene Herkunft

Verwendung in der Stahlveredelung, Sonderlegierungen (Ti), zur Herstellung von Schweißelektroden, Röntgenfilter in der Elektronikindustrie, Katalysatoren in der chemischen Industrie, für Glasuren, zur Reinigung von Gasen der Verbrennungsmotoren und Pharmazeutika. Eintrag in die Umwelt (vermutlich nur in geringem Ausmaß) durch Verbrennung fossiler Energieträger und aus der metallverarbeitenden Industrie.

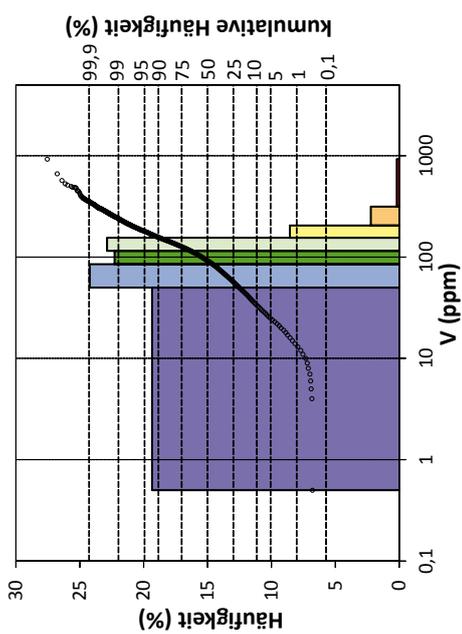
Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement für manche Organismen (Tiere, Pflanzen). Vanadium im Trinkwasser verhindert Karies (ähnlich Fluor). In höheren Konzentrationen toxische Auswirkungen, abhängig von der Verbindung und Wertigkeit. Manche Pflanzen können Vanadium akkumulieren.

Mobilität von Vanadium unter oxidierenden Bedingungen hoch, im reduzierenden Milieu sehr gering. Bei saurem pH-Wert hohe, bei neutralem bis basischem pH-Wert sehr hohe Mobilität; Sorption an Fe-Hydroxiden und der organischen Substanz; in den Bachsedimenten hauptsächlich in der Schwermineralfraktion angereichert (Magnetit, Granat), bzw. mit Eisen in der Feinfraktion angereichert.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Vanadium (V)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.306

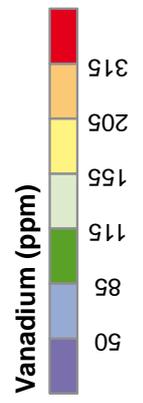
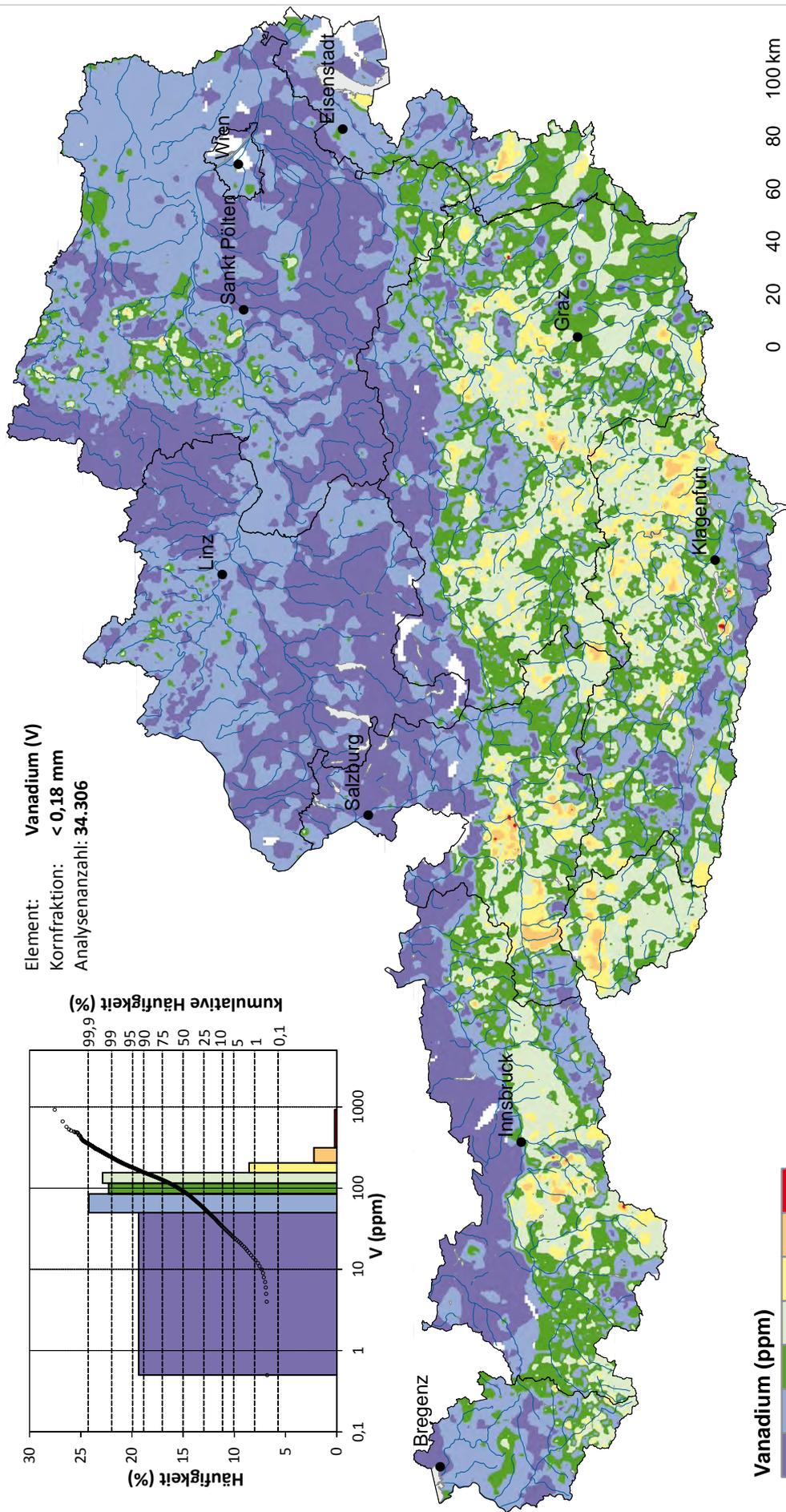


Abb. 145. Vanadiumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

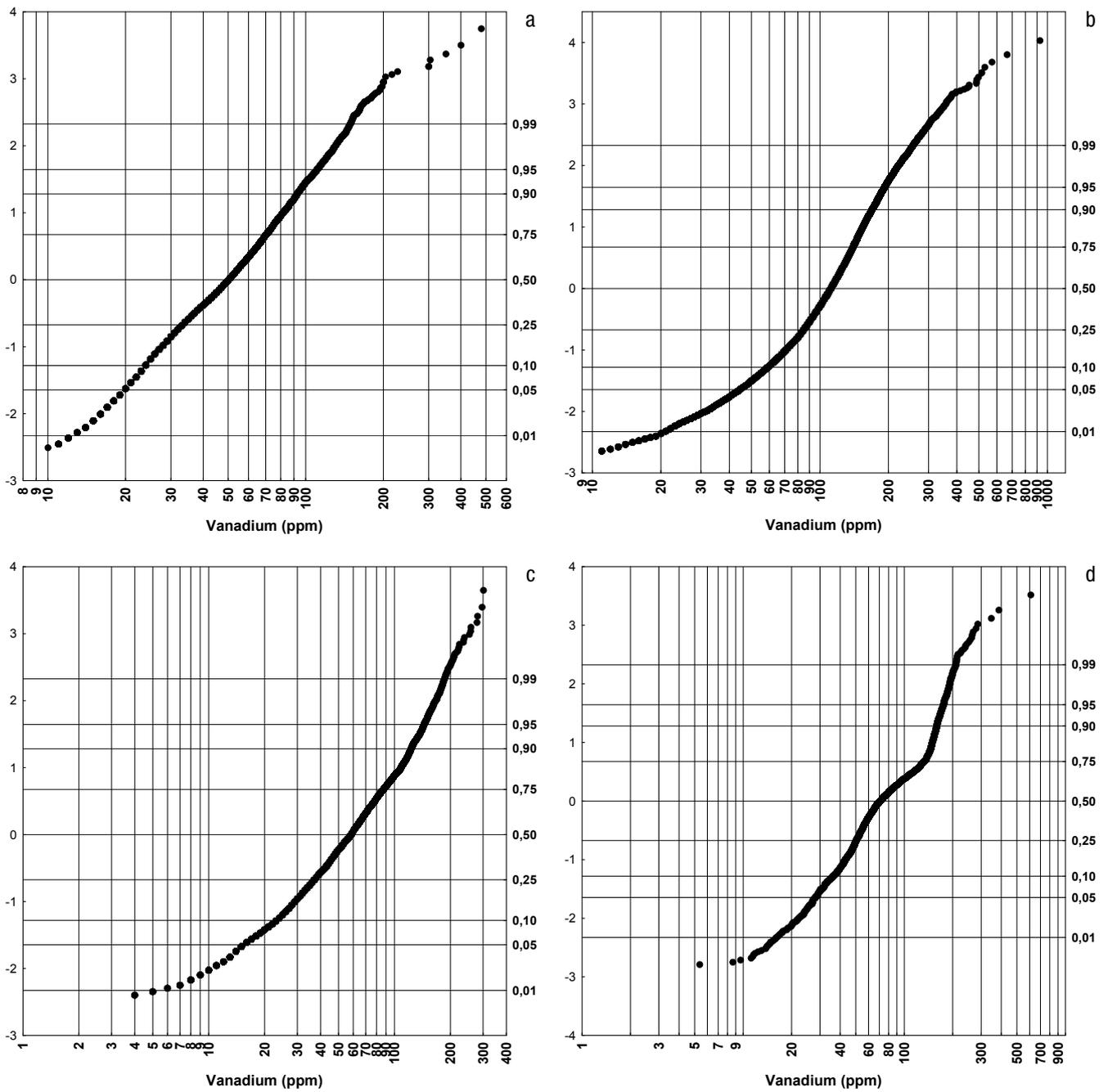


Abb. 146. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Vanadium in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

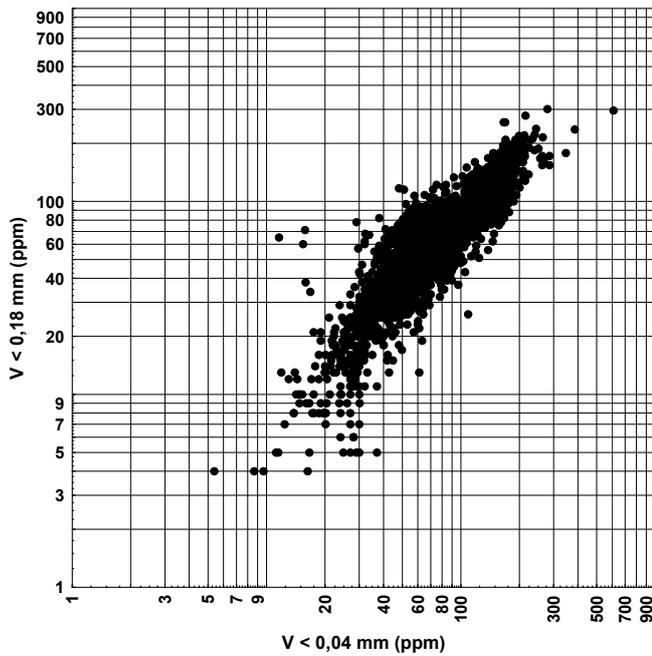


Abb. 147.
Vergleich der Kornfraktionen $< 0,18 \text{ mm}$ und $< 0,04 \text{ mm}$ für Vanadium (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Vanadium ist als Spurenelement in Amphibolen, Pyroxenen und Glimmern mit basischen und ultrabasischen Gesteinsserien mineralogisch-geochemisch verknüpft. Aus der regionalen und kleinregionalen Verteilung der Vanadium-Grundgehalte (ca. 90 bis 150 ppm /

bis 200 ppm / $> 200 \text{ ppm}$) bestätigt sich dieser Zusammenhang. In Karbonatgebieten und Karbonat führenden ostalpinen Kristallineinheiten liegen die Grundgehalte verbreitet bei $< 50 \text{ ppm}$. In Abhängigkeit von ihren ehemaligen Liefergebieten können im Helvetikum, im Nördlichen Weinviertel oder im Steirischen Becken auch Grundgehalte bis 150 ppm in den Bachsedimenten beobachtet werden.

W – Wolfram (Abb. 148–149)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement der Molybdängruppe; in Spätdifferentiaten saurer Magmen, Pegmatitskarnen und Greisenmineralisationen assoziiert mit Molybdän, Zinn, Tantal, Niob und Bismut; in hydrothermalen, oft auch schichtgebundenen Lagerstätten gemeinsam mit Gold, Bismut und Antimon. Auch in dolomitischen und kalziumsilikatreichen Gesteinen. Hauptminerale sind Wolframit (Fe,Mn)WO₄ und Scheelit CaWO₄. Als Spurenelement in Glimmer.

Häufigkeit (W in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	1,4 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,7 ³
basische Gesteine	0,7 ²
intermediäre Gesteine	1,0 ¹
granitische Gesteine	2,0 ²
Tonschiefer	1,8 ⁵
Sandsteine	1,6 ³
Karbonatgesteine	0,6 ³
Unterböden	< 5,0 ⁴

Wichtige Wolframminerale

Wolframit (61 % W), Scheelit (64 % W), Stolzit (40 %).

Wolfram als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Cassiterit	1.000
Columbit	bis 11.000
Feldspäte	bis 100
Ilmenit	bis 70
Manganoxide	bis 55.000
Mikrolith	Ø 600
Muskovit (aus Granit)	Ø 150
Muskovit (aus Greisen)	Ø 510
Pyrochlor	bis 3.000
Pyrolusit	bis 8.000
Rutil	bis 2.000
Sphen	Ø 34
Tantalit	Ø 93

Technogene Herkunft

Verwendung in der Stahlveredelung, in Sonderlegierungen, in Wolframcarbid (harte Werkmaterialien), Glühfäden, Antikathoden in Röntgenstrahlröhren, Katalysatoren, Flugzeug- und Raketentechnik, Behältern und Strahlenschutzschirmen, Leuchtstoffen, Beizmitteln etc. Die Verbreitung in der Umwelt wird als gering eingeschätzt; möglicherweise bei Wolfram-Abbau und -Weiterverarbeitung.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement; über toxische Wirkung von Wolfram sind kaum Informationen vorhanden. Toxizität wurde bisher aufgrund der niedrigen Mobilität als gering eingeschätzt; neueren Studien der UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (2014) zur Folge wird Wolfram bereits als „emerging contaminant“ mit erhöhtem Forschungsbedarf geführt. Bei bestimmten Redox- und pH-Bedingungen wurde Auslaugung von Wolfram aus dem B-Horizont von Böden (starke Anreicherung durch Sorption an Mn-Oxiden) in das Grundwasser beobachtet.

Scheelit sowie Wolfram führende Schwerminerale sind hoch verwitterungsbeständig. Wolfram wird in der Schwermineralfraktion der Bachsedimente angereichert.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

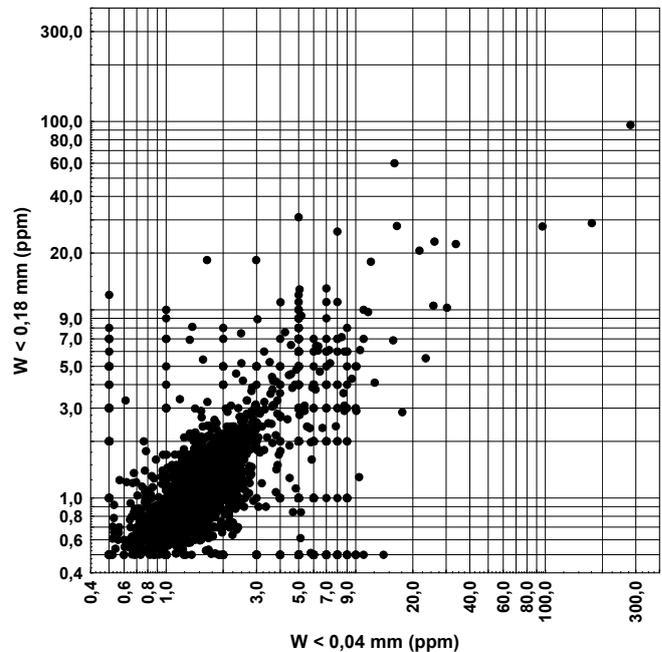


Abb. 148. Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Wolfram (Bundesländerprojekte).

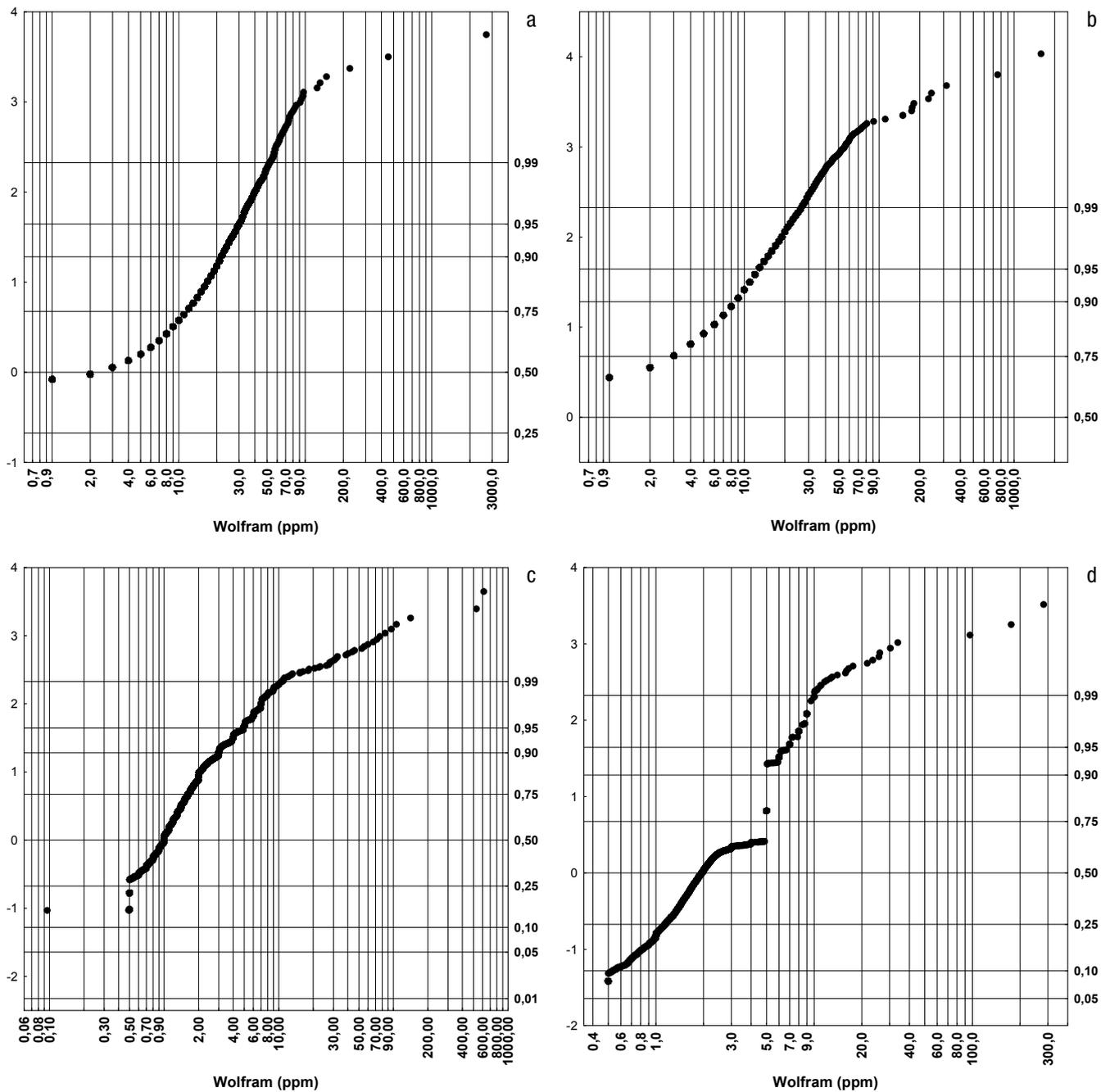


Abb. 149. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Wolfram in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Wolfram wird in den Bach- und Flusssedimenten mineralogisch überwiegend durch Scheelit repräsentiert. Aufgrund der Bruchcharakteristik und des spezifischen Gewichts neigt Scheelit in den Bachsedimenten zur „Übertreibung“ der tatsächlichen Vorkommen im Einzugsgebiet. In der flächigen Darstellung stehen z.B. in den

ostalpinen Kristallineinheiten und dem Subpenninikum somit Einzelprobepunkte mit sehr hohen W-Konzentrationen (> 70 ppm) großen Flächen mit Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze gegenüber. Auch in der Analytik zu den Bundesländerprojekten wurden kaum stabile und plausible W-Verteilungen gefunden. Deshalb wird auf eine flächige Darstellung verzichtet.

Y – Yttrium (Abb. 150–153)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; folgt geochemisch Kalzium; Konzentration in Alkaligesteinen, Pegmatiten und Seifenlagerstätten. Assoziiert mit Schwermineralelementen wie Cer, Lanthan, Titan und Zirkonium. Wichtigstes Yttriummineral ist Xenotim (YPO_4). Als Spurenelement auch in Granat, Apatit und Zirkon.

Häufigkeit (Y in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	21 ⁶
ultrabasische Gesteine	0,X ³
basische Gesteine	25 ²
intermediäre Gesteine	35 ²
granitische Gesteine	40 ²
Tonschiefer	26 ⁵
Sandsteine	40 ³
Karbonatgesteine	30 ³
Unterböden	23 ⁴

Wichtige Yttriumminerale

Xenotim (48 % Y), Gadolinit (38 % Y), Fergusonit (15 %), Brannerit (3 %), Monazit (bis 5 % Y_2O_3), Orthit (bis 8 % Y_2O_3), Samarskit (bis 14,49 % Y_2O_3), Yttrifluorit (bis 13,7 % Y).

Yttrium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Almandin	1.000
Amphibole	10
Apatit	100
Biotit	10
Eudialyt	1.000
Fluorit	100
Magnetit	100
Pyrop	10
Spessartin	1.000
Uraninit	100
Zirkon	bis 40.000

Technogene Herkunft

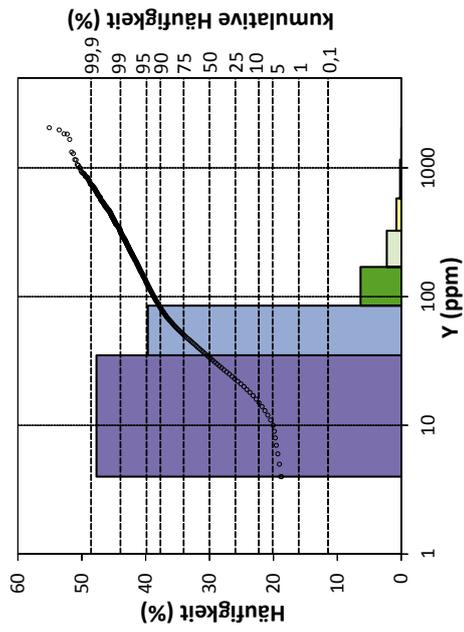
Verwendung in der Keramik- und Glasindustrie, in Legierungen als metallurgische Additiva, in elektrotechnischen Produkten (Kathodenstrahlröhren, Fluoreszenzlampen) und in Hochtemperatursupraleitern; kaum technogener Eintrag in die Umwelt; anthropogene Quellen sind der SEE-Bergbau und die keramische Industrie.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement für Organismen. Toxizität vermutlich gering, allerdings existiert nur eine unzureichende Datenlage. Mobilität unter allen Redox- und pH-Bedingungen sehr gering. In Bachsedimenten vor allem in der verwitterungsbeständigen Schwermineralfraktion angereichert.

² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs



Element: Yttrium (Y)
 Kornfraktion: < 0,18 mm
 Analysenanzahl: 34.039

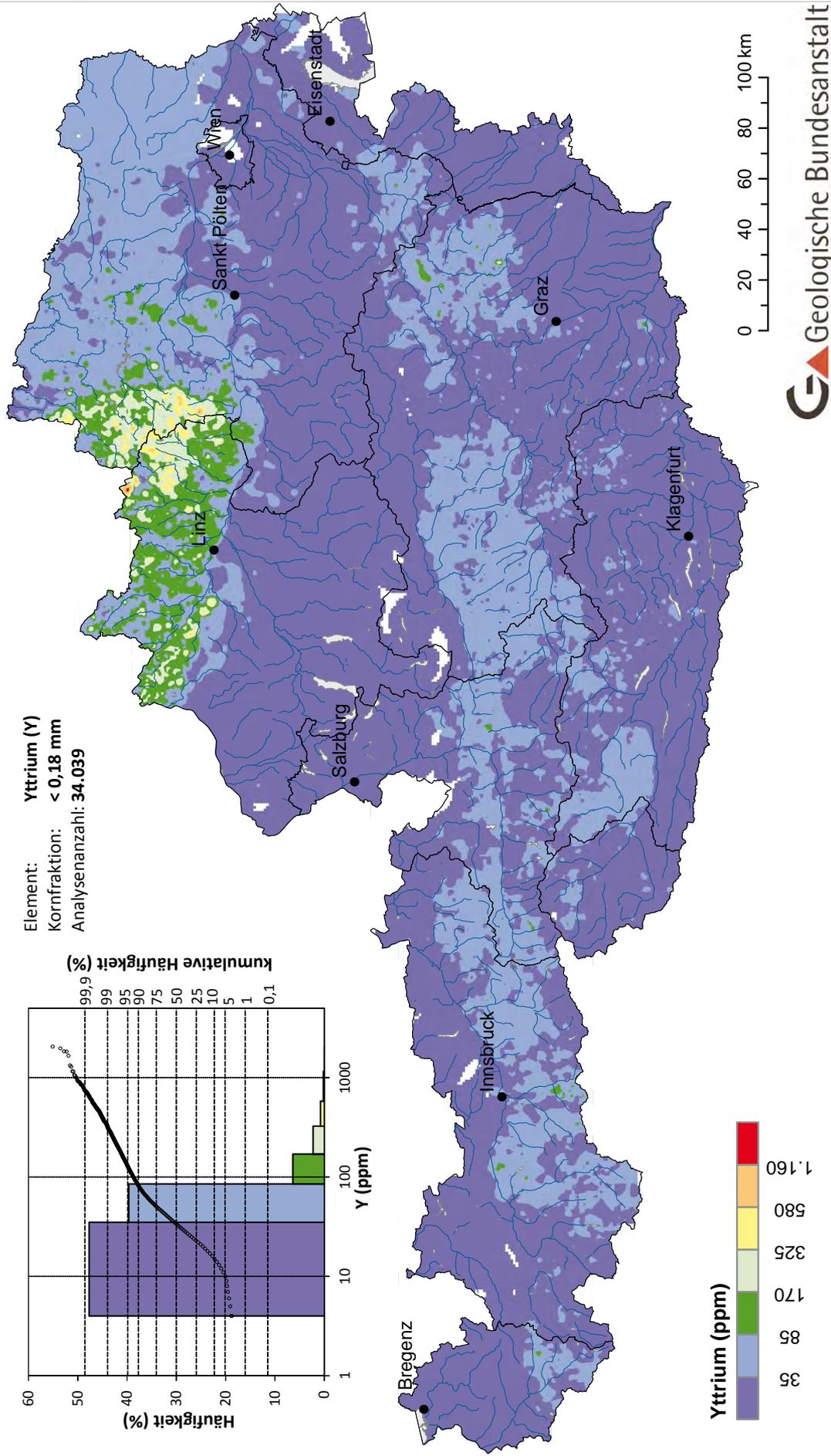


Abb. 150. Yttriumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

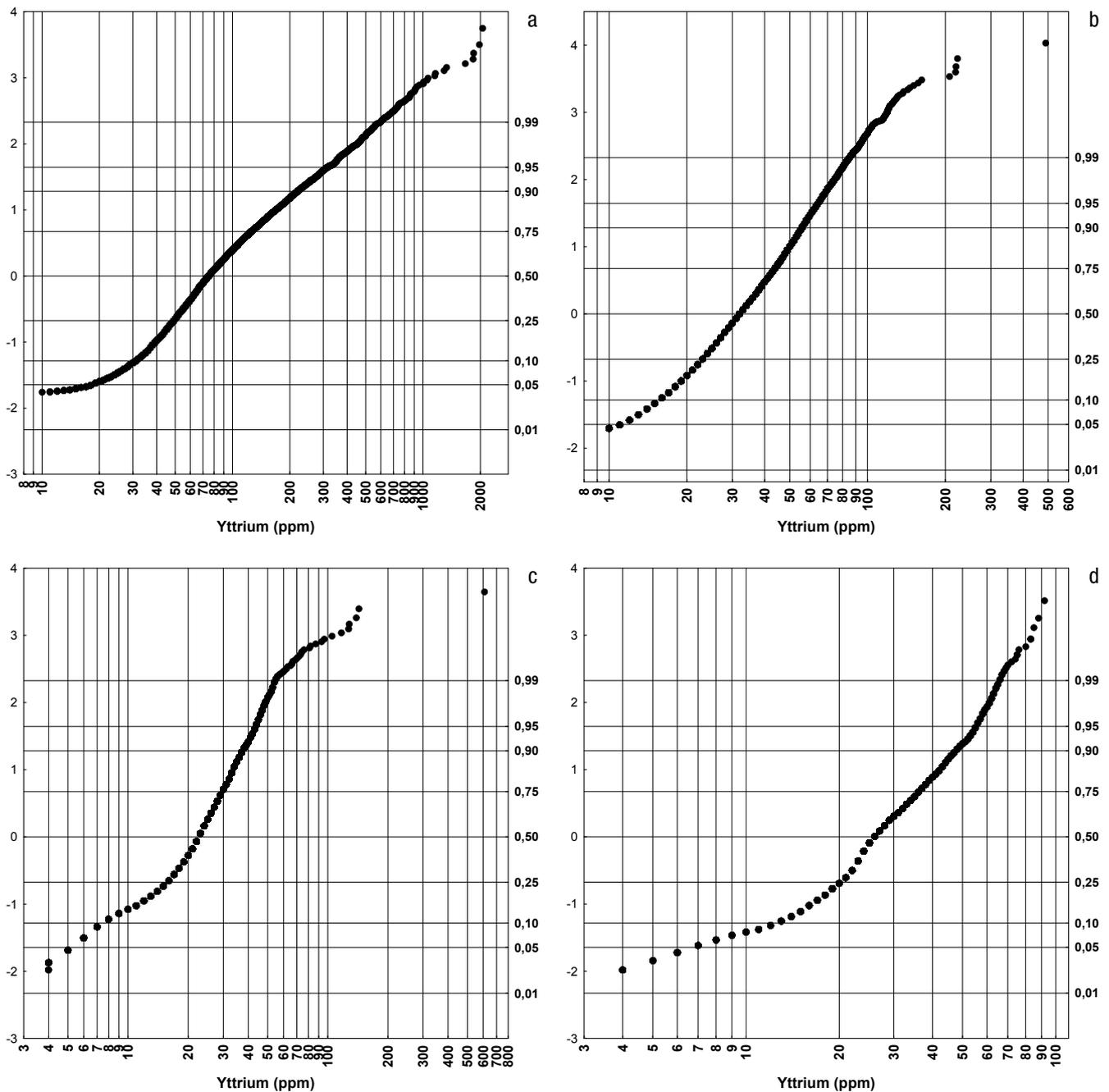


Abb. 151. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Yttrium in ppm; Böhmisches Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Yttrium ist in den Bach- und Flusssedimenten an das Vorkommen von Schwermineralen gebunden (insbesondere Xenotim). Die jeweilige Elementkonzentration im Sediment ist daher nicht nur von der Lithologie des Einzugsgebiets abhängig, sondern auch von den Transport- und Sedimentationsbedingungen im jeweiligen Bach-/Flussabschnitt. Minerale mit höherem spezifischen Gewicht („Schwerminerale“) werden im Bachverlauf verstärkt direkt unterhalb von Hindernissen abgelagert und

damit an bestimmten Stellen angereichert. Auf Grund ihrer durchschnittlichen Korngröße finden sich diese Schwerminerale auch meist in der Feinstfraktion.

In der Gesamtübersicht für die Analyseergebnisse der Kornfraktion < 0,18 mm fallen die verbreitet hohen Konzentrationen (> bis >> 170 ppm) in der Böhmisches Masse auf. Das hat drei Gründe:

- a. Die Granite und die entsprechenden Migmatite besitzen einen hohen Anteil an Y-führenden Schwermineralen.

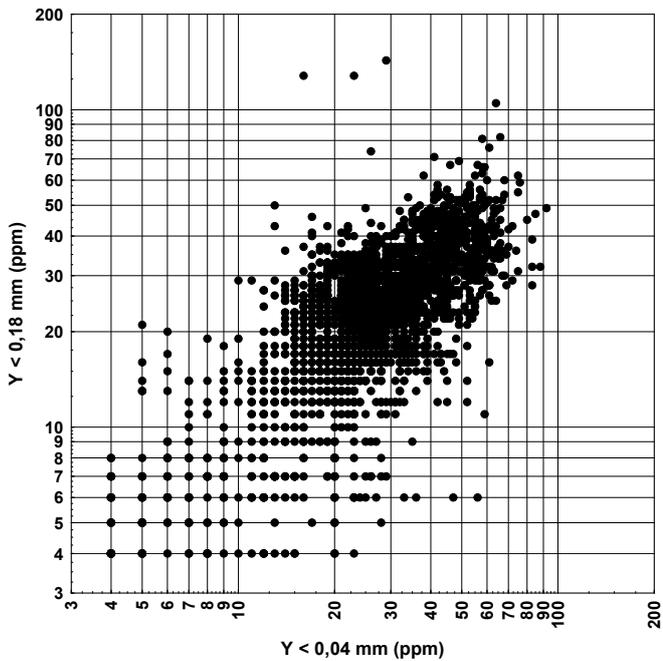


Abb. 152. Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Yttrium (Bundesländerprojekte).

- b. Die ungestörte Verwitterung seit dem Neogen hat in der Verwitterungsaufgabe zu einer Anreicherung der meist sehr verwitterungsresistenten Schwerminerale geführt.
- c. Die spezifische Sedimentzusammensetzung und die Transportvorgänge führen zu einer weiteren Anreicherung der sehr feinkörnigen Schwerminerale.

Durch diese Dominanz der sehr hohen Y-Konzentrationen in der Böhmisches Masse werden die Verteilungsmuster im übrigen Bundesgebiet undeutlich, da dort kaum Y-Konzentrationen > 170 ppm anzutreffen sind.

Um die Verteilungsmuster auch in Gebieten verbreitet niedrigerer Y-Konzentrationen zu verdeutlichen, werden in Abbildung 153 die Analyseergebnisse der Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math> aus den Bundesländerprojekten getrennt dargestellt. Damit wird herausgearbeitet, dass die Konzentrationsminima mit den Karbonatgebieten verknüpft sind. In der Molassezone, den inneralpinen Becken sowie im Sediment der größeren, alpinen Flüsse sind verbreitet Y-Konzentrationen von nur 20 bis 40 ppm zu beobachten. Y-Konzentrationen > 40 ppm im Weinviertel und einem kleinen Abschnitt der Oberösterreichischen Molasse weisen auf Liefergebiete für die quartären und neogenen Lockersedimente aus der Böhmisches Masse hin.

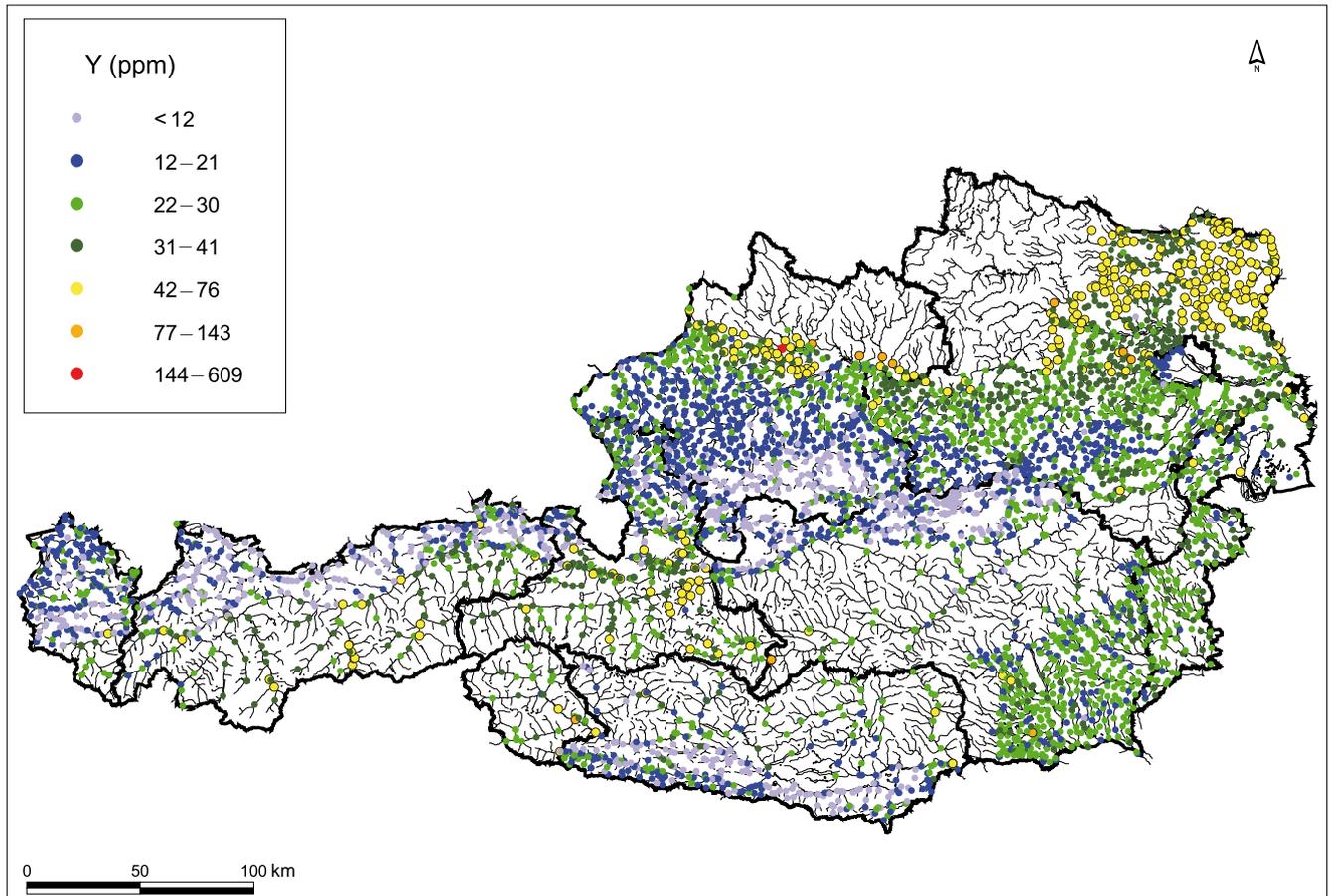


Abb. 153. Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math>, Bundesländerprojekte; Yttriumverteilung.

Zn – Zink (Abb. 154–156)

Geogene Herkunft

Chalkophiles Spurenelement aus der Gruppe der Übergangselemente; getarnt vor allem durch Eisen; vorwiegend in hydrothermalen Lagerstättenbildungen, assoziiert mit Blei, auch Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Arsen und Antimon sowie seltenen Spurenelementen wie Cadmium, Gallium, Indium, Thallium und Germanium. Hauptminerale sind vor allem Sphalerit ZnS, untergeordnet Smithsonit ZnCO₃ und Zinkit ZnO; als Spurenelement häufig eingebaut in Pyroxenen, Amphibolen, Glimmer, Granat und Magnetit.

Häufigkeit (Zn in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	75 ⁶
ultrabasische Gesteine	50 ³
basische Gesteine	100 ²
intermediäre Gesteine	72 ¹
granitische Gesteine	40 ²
Tonschiefer	95 ⁵
Sandsteine	16 ³
Karbonatgesteine	20 ³

Wichtige Zinkminerale

Sphalerit (60–67 % Zn), Smithsonit (52 % Zn), Hemimorphit (54 % Zn), Willemit (59 % Zn), Gahnit (36 % Zn), Desclozit (16 % Zn), Franklinit (bis 27 % Zn).

Zink als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Ankerit	1.000
Biotit	100
Brucit	bis 24.000
Cerussit	100
Dolomit	100
Hausmannit	100
Hedenbergit	100
Jamesonit	100
Magnetit	100
Miargyrit	100
Muskovit	100
Pentlandit	100
Pyrit	bis 45.000
Pyroxene	100
Rhodochrosit	bis 120.000
Rhodonit	bis 48.000
Siderit	100
Spinell	1.000
Tennantit	100
Vesuvian	1.000

Technogene Herkunft

Verwendung in Legierungen, zum Verzinken von Metallen, in galvanischen Elementen, in Pigmenten, in Kunststoffen, Batterien, in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, in Fungiziden, der Arzneimittel-, Düngemittel- und Futtermittelindustrie, in Verpackungsmaterial etc. Eintrag in die Umwelt durch Zinkverhüttung und die metallverarbeitende Industrie, durch verzinkte Metalle, Industrieabwässer (Zellstoffproduktion), Kohleverfeuerung, Müllverbrennung und Klärschlamm.

Verhalten in der Umwelt

Essenzielles Spurenelement für alle Organismen. Mäßige bis geringe Toxizität für Pflanzen und Tiere. Zinkverbindungen als Futterzusatz für Schweine und Hühner. Hohe Bodenkonzentrationen können zu Wachstumsdepressionen bei Pflanzen führen. Hohe Mobilität unter sauren, oxidierenden Bedingungen; in reduzierendem Milieu und bei neutralen bis basischen pH-Werten gering mobil; Sorption an Fe-, Mn-Oxiden, Tonmineralen und an organischen Substanzen; Mitfällung mit Eisen.

In den Bachsedimenten Anreicherung in der Feinfraktion; Gahnit und Sphalerit finden sich häufig in der Schwermineralfraktion.

¹ GOVETT (1983), ² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

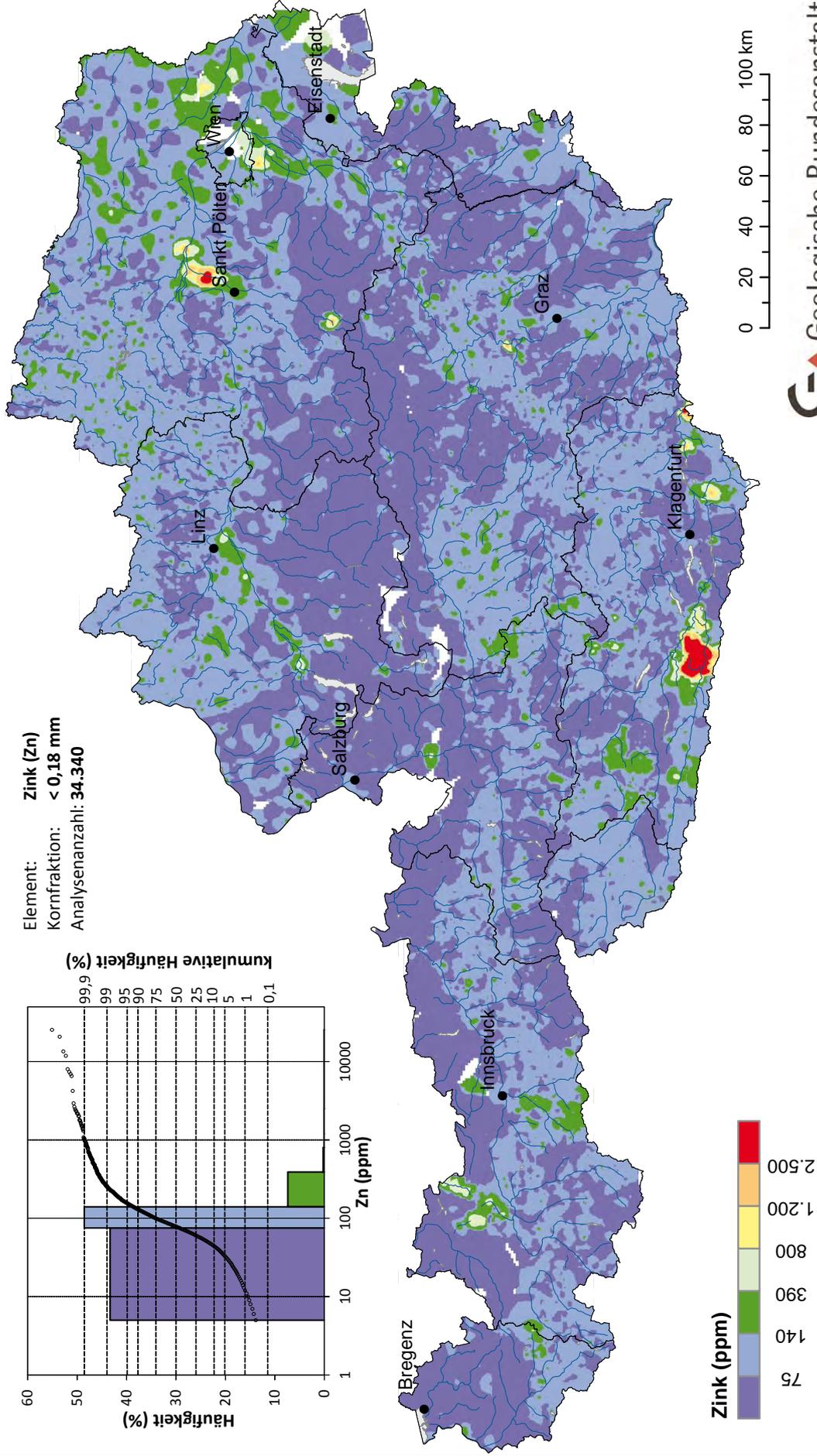
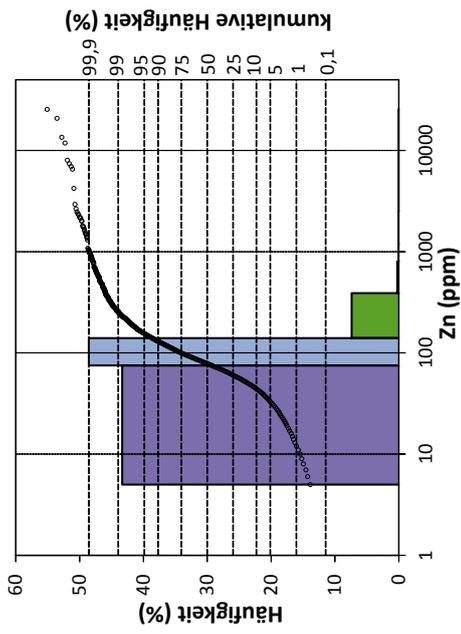


Abb. 154.
 Zinkverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

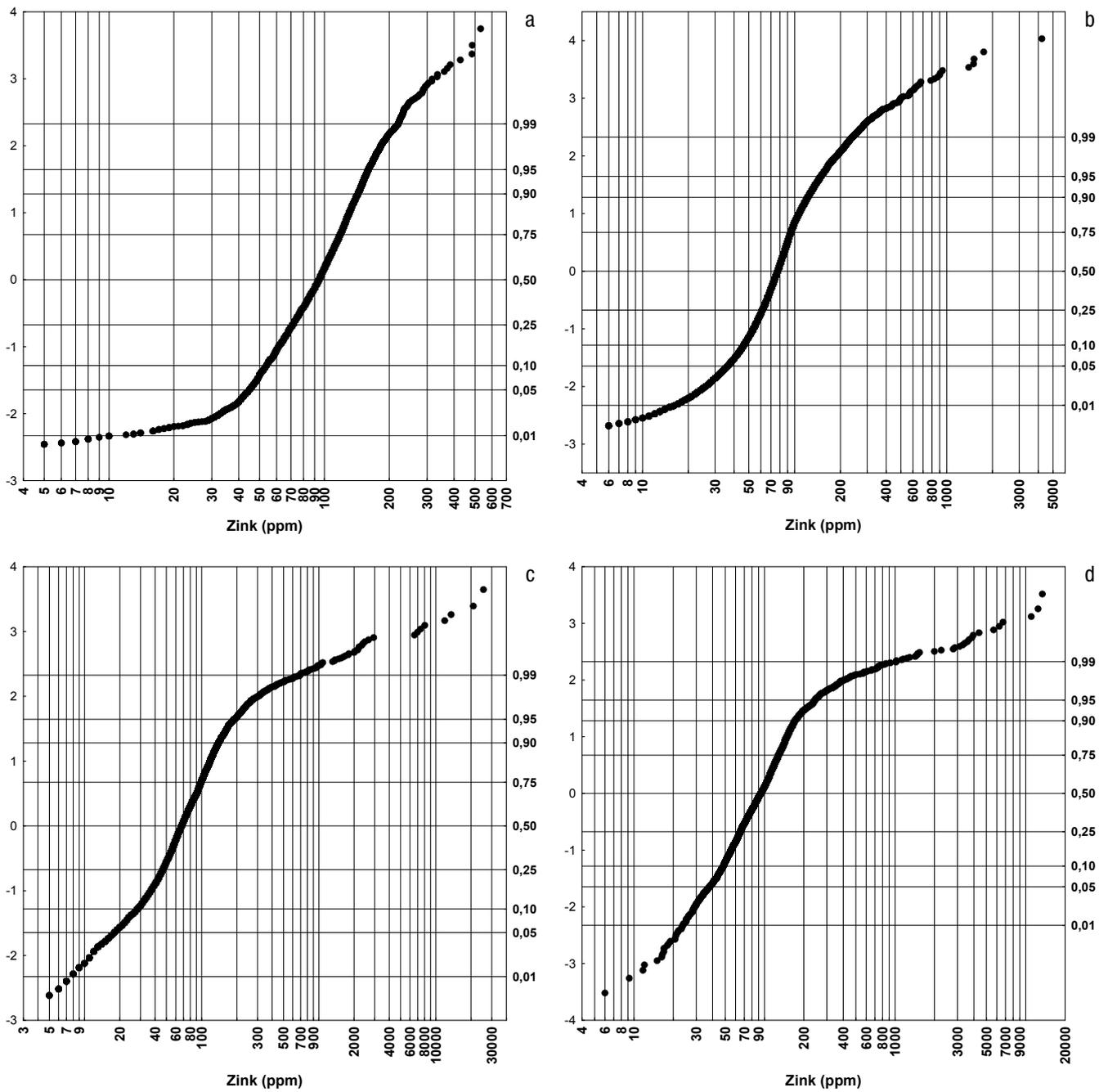


Abb. 155. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Zink in ppm; Böhmisches Massiv (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

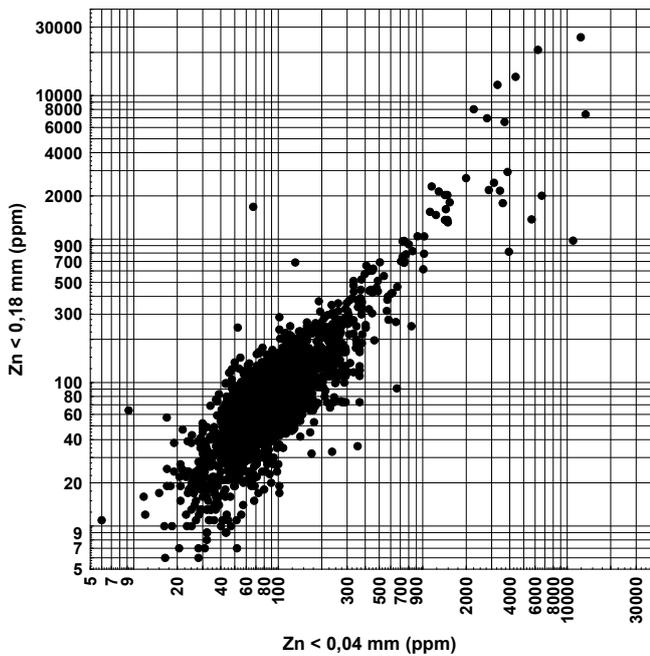


Abb. 156.
Vergleich der Kornfraktionen < 0,18 mm und < 0,04 mm für Zink (Bundesländerprojekte).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Die räumliche Verteilung des Elements Zink in Bach- und Flusssedimenten ist über mehrere Ebenen zu beschreiben.

Geogen:

- Durchwegs niedrige Grundgehalte (< bis << 140 ppm) in großen Teilen der Kristallingebiete der Böhmisches Masse und der Zentralzone. Kleinregional aber auch höhere Grundgehalte (bis ca. 800 ppm), die entweder mit feinverteilten Sulfidvorkommen oder mit Einbau von Zink im Gitter von Amphibolen, Pyroxenen, Glimmer oder Granat verknüpft sind.
- Hohe bis sehr hohe Konzentrationen im Umfeld von Pb-Zn-Vererzungen im Grazer Paläozoikum, Drauzug (Raum Bleiberg-Kreuth), in den Nördlichen Kalkalpen (Annaberg/Türnitz), Karawanken und den westlichen Tiroler Kalkalpen.

Anthropogen/technogen:

- Hohe bis sehr hohe Konzentrationen im Sediment von Flüssen wie Ager-Traun oder Traisen als „Rest“-Belastungen aus industriellen Anlagen.
- Immissionen in Ballungsgebieten, wie z.B. im Marchfeld oder im Süden von Wien.
- Auswirkungen von Verhüttung und Metallverarbeitung wie im Raum Arnoldstein.

Zr – Zirkonium (Abb. 157–160)

Geogene Herkunft

Lithophiles Spurenelement; assoziiert mit Hafnium, Yttrium, Lanthan, Cer und anderen Elementen der Seltenen Erden sowie Titan, Niob, Thorium und Lithium; Zr-Silikate in Alkaligesteinen; Zirkon häufig als Seifenmineral zu beobachten; Ausscheidung als Oxid bei Hydrothermal- und Verwitterungsprozessen.

Häufigkeit (Zr in ppm)

obere kontinentale Erdkruste	193 ⁶
ultrabasische Gesteine	45 ³
basischen Gesteinen	150 ²
intermediäre Gesteine	260 ²
granitische Gesteine	180 ²
Tonschiefer	160 ⁵
Sandsteine	230 ³
Karbonatgesteine	19 ³
Unterböden	222 ⁴

Wichtige Zirkoniumminerale

Zirkon (50 % Zr), Baddeleyit (73,9 % Zr), Caldasit (ein Mineralgemisch aus Zirkon und Baddeleyit mit bis zu 97 % ZrO₂).

Zirkonium als Spurenelement in wichtigen Mineralien (ppm)^{8,9}

Aegirin	1.000
Albit	10
Almandin	100
Amphibole	100
Augit	100
Biotit	10
Boulangerit	100
Cassiterit	100
Ilmenit	100
Ilvait	100
Löllingit	100
Monazit	bis 52.000
Muskovit	10
Olivin	10
Periklas	bis 24.000
Rutil	1.000
Titanit	1.000
Vivianit	100
Wolframit	100
Xenotim	bis 30.000 ZrO ₂

Technogene Herkunft

Verwendung in der Glas- und Keramikindustrie, in Sonderlegierungen, Vakuumröhren und Blitzlichtbirnen, in Kernreaktoren, Gießereiformsand, Schleifmitteln, Chirurgie, Kosmetika, Farben und Pigmenten. In technogenen Abfällen eher seltener; Eintrag in die Umwelt unbedeutend.

Verhalten in der Umwelt

Kein essenzielles Spurenelement. Toxizität von Zirkonium höchstwahrscheinlich sehr gering.

Unter allen Redox- und pH-Bedingungen sehr geringe Mobilität. Hohe Verwitterungsbeständigkeit des Schwerminerals Zirkon. In Bachsedimenten in der Schwermineral(fein)fraktion teilweise extrem angereichert.

² TAYLOR (1964), ³ TUREKIAN & WEDEPOHL (1961), ⁴ DE VOS & TARVAINEN (2006), ⁵ LI (2000), ⁶ RUDNICK & GAO (2003), ⁸ WEDEPOHL (1974), ⁹ RÖSLER & LANGE (1976).

Geochemie der Bachsedimente Österreichs

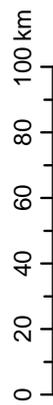
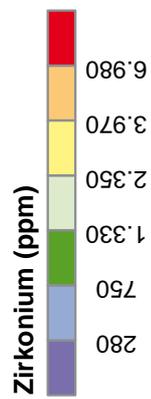
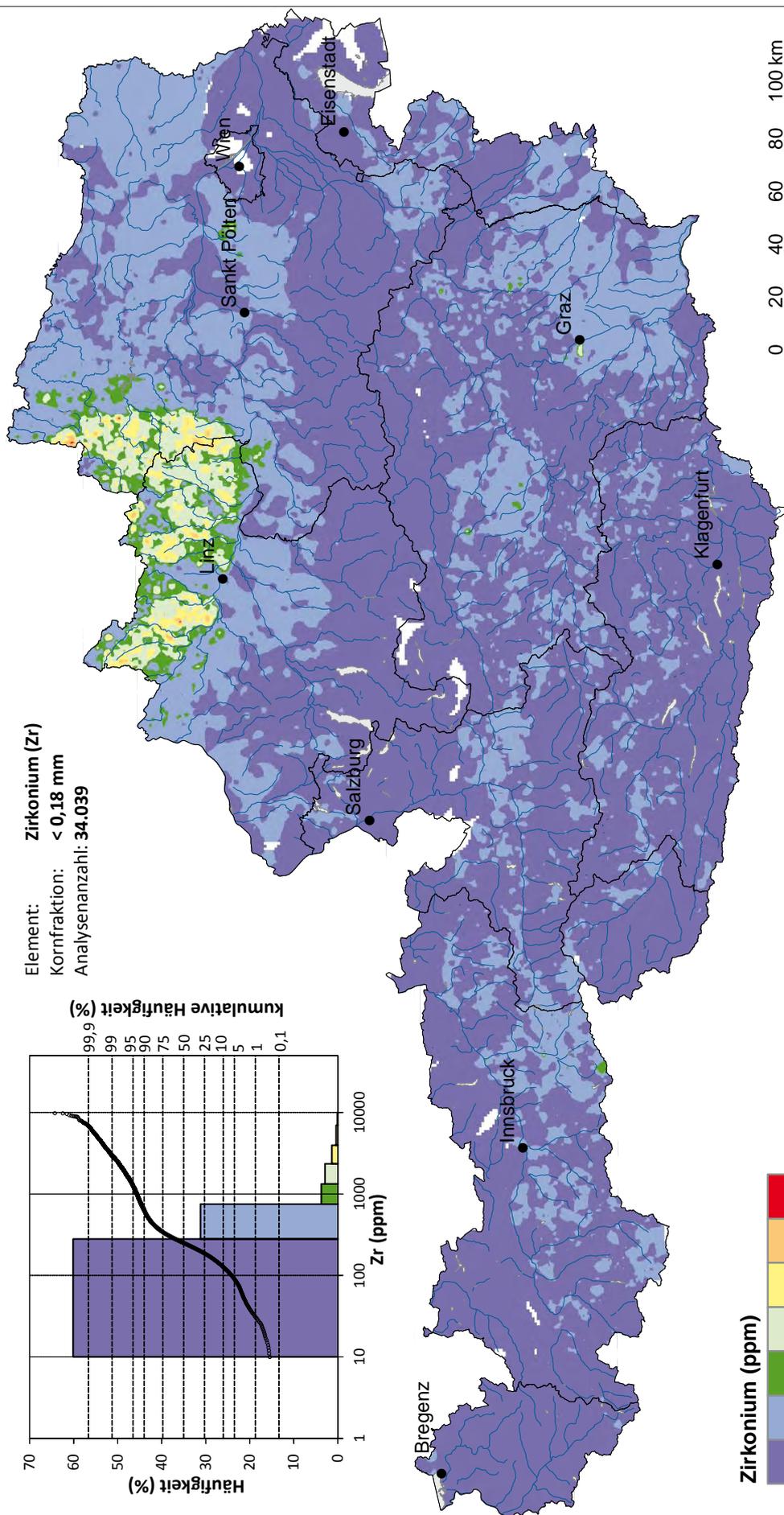
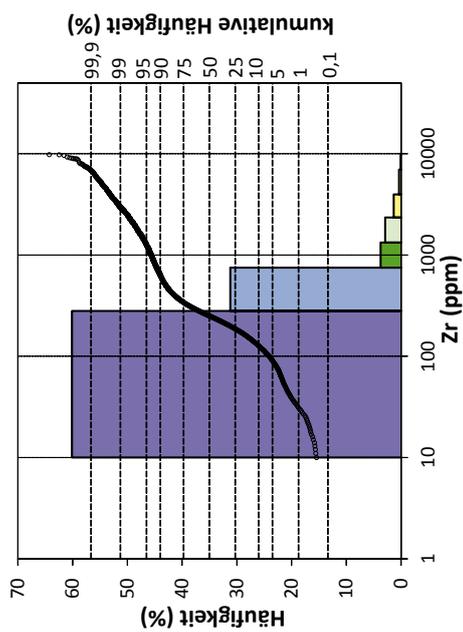


Abb. 157.
 Zirkoniumverteilung in Bachsedimenten (< 0,18 mm).

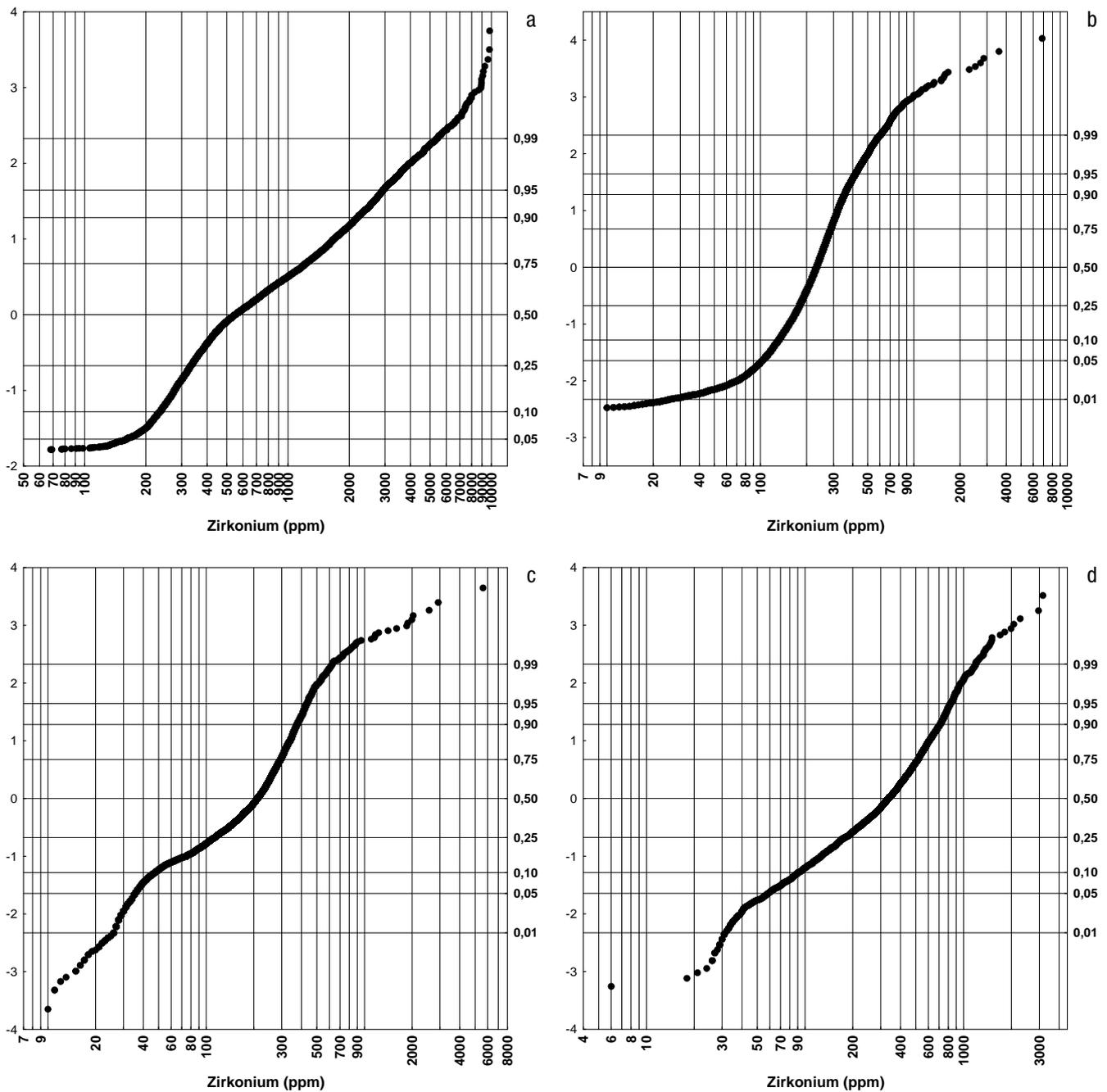


Abb. 158. Kumulative Häufigkeitsverteilung für Zirkonium in ppm; Böhmishe Masse (a), Zentralzone (b) und Bundesländerprojekte (jeweils < 0,18 mm; c) bzw. Bundesländerprojekte (< 0,04 mm; d).

Kurzcharakteristik der Ergebnisse

Das Element Zirkonium ist in den Bach- und Flusssedimenten an das Vorkommen von Schwermineralen gebunden (insbesondere Zirkon). Die jeweilige Elementkonzentration im Sediment ist daher nicht nur von der Lithologie des Einzugsgebiets abhängig, sondern auch von den Transport- und Sedimentationsbedingungen im jeweiligen Bach-/ Flussabschnitt. Minerale mit höherem spezifischem Gewicht („Schwerminerale“) werden im Bachverlauf verstärkt direkt unterhalb von Hindernissen abgelagert und damit an bestimmten Stellen angereichert. Auf Grund ihrer durchschnittlichen Korngröße finden sich diese Schwerminerale auch meist in der Feinstfraktion (< 0,04 mm).

In der Gesamtübersicht für die Analyseergebnisse der Kornfraktion < 0,18 mm fallen die verbreitet hohen Konzentrationen (> bis >> 750 ppm) in der Böhmischen Masse auf. Das hat drei Gründe:

- a. Die Granite und die entsprechenden Migmatite besitzen einen hohen Anteil an Zr-führenden Schwermineralen.
- b. Die ungestörte Verwitterung seit dem Neogen hat in der Verwitterungsaufgabe zu einer Anreicherung der meist sehr verwitterungsresistenten Schwerminerale geführt.

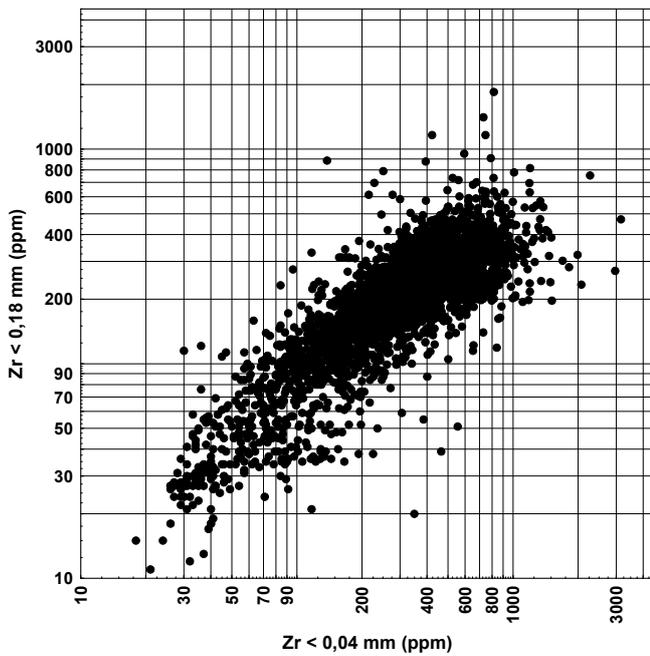


Abb. 159. Vergleich der Kornfraktionen <math>< 0,18 \text{ mm}</math> und <math>< 0,04 \text{ mm}</math> für Zirkonium (Bundesländerprojekte).

c. Die spezifische Sedimentzusammensetzung und die Transportvorgänge führen zu einer weiteren Anreicherung der sehr feinkörnigen Schwerminerale.

Durch diese Dominanz der sehr hohen Zr-Konzentrationen in der Böhmisches Masse werden die Verteilungsmuster im übrigen Bundesgebiet undeutlich, da dort nur lokal und kleinregional Zr-Konzentrationen > 2.000 ppm anzutreffen sind.

Um die Verteilungsmuster auch in Gebieten verbreitet niedrigerer Zr-Konzentrationen zu verdeutlichen, werden in Abbildung 160 die Analyseergebnisse der Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math> aus den Bundesländerprojekten getrennt dargestellt. Damit wird herausgearbeitet, dass die Konzentrationsminima mit den Karbonatgebieten (<math>< 100 \text{ ppm Zr}</math>) verknüpft sind. In der Molassezone, den inneralpinen Becken sowie im Sediment der größeren, alpinen Flüsse liegen die Zr-Konzentrationen bei 100–400 ppm Zr, mit bereichsweisen Maxima bis 3000 ppm Zr.

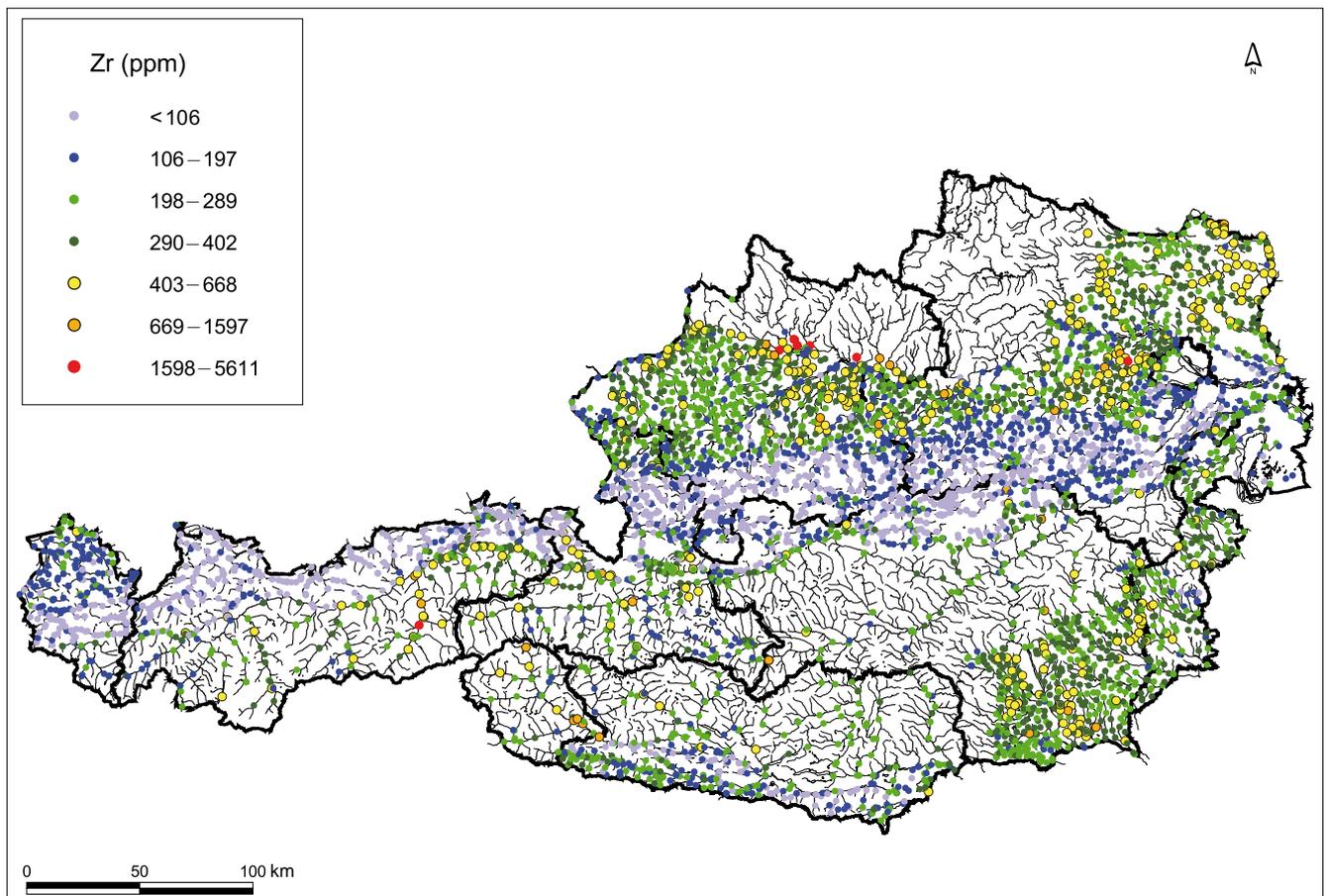


Abb. 160. Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion <math>< 0,18 \text{ mm}</math>, Bundesländerprojekte; Zirkoniumverteilung.

6 Ergebnisdiskussion begleitender Mess- und Analytikdaten

(HERBERT PIRKL)

Bereits in der laufenden Dokumentationsphase des Geochemischen Atlas für die Böhmisches Masse und die Zentralzone wurde im Jahr 1987 durch das Team Geologische Bundesanstalt / Geotechnisches Institut der BVFA Arsenal ein „Konzeptvorschlag für die Weiterführung systematischer geochemischer Untersuchungen mit zusätzlicher Schwerpunktsetzung bei der Aufklärung von Umwelt-

belastungen“ ausgearbeitet. Fachliche Basis für dieses Konzept war ein Methodenprojekt mit einem Beprobungsschwerpunkt an den Flüssen im südlichen Wiener Becken (PIRKL & KRÁLIK, 1988), das die bisherigen Erfahrungen aus der systematischen Bachsedimentgeochemie auf eine intensiv genutzte Landschaft anwenden sollte. Die daraus abgeleiteten Vorschläge zur Methodenerweiterung in Rich-

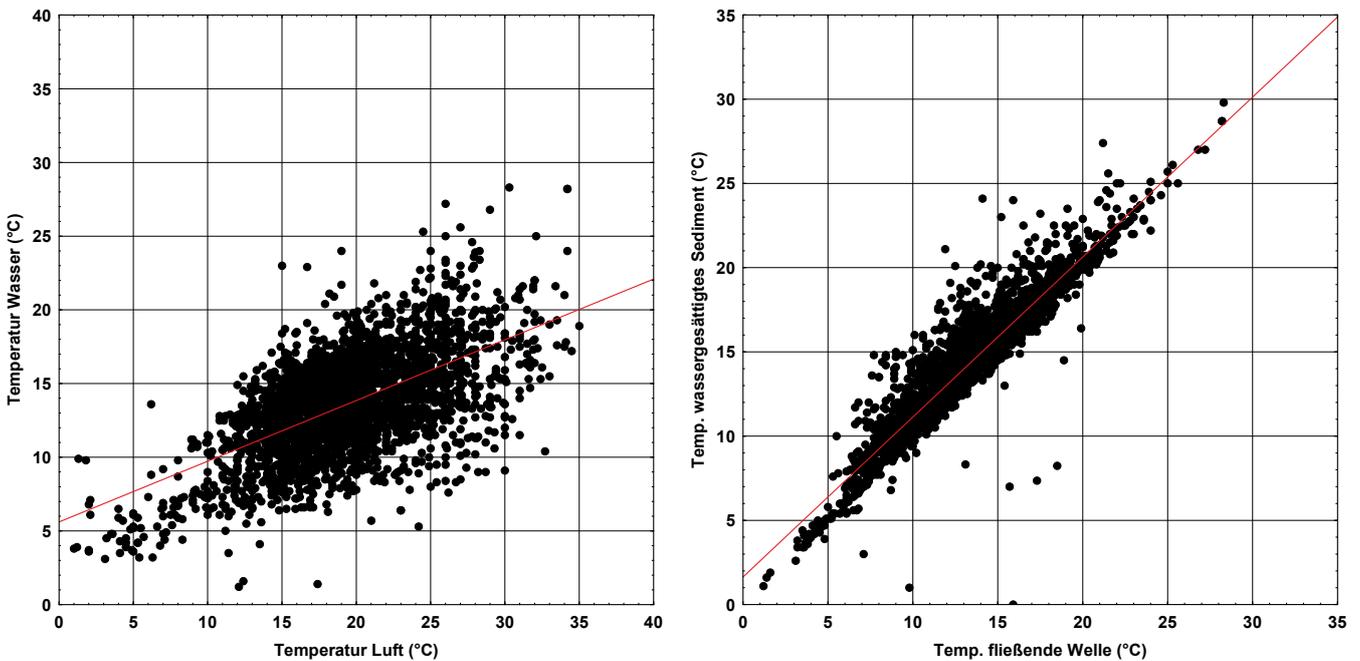


Abb. 161. Bach- und Flusssedimentgeochemie / Bundesländerprojekte – Geländemessdaten; links: Vergleich Luft- und Wassertemperatur; rechts: Vergleich Temperatur fließende Welle und wassergesättigtes Sediment.

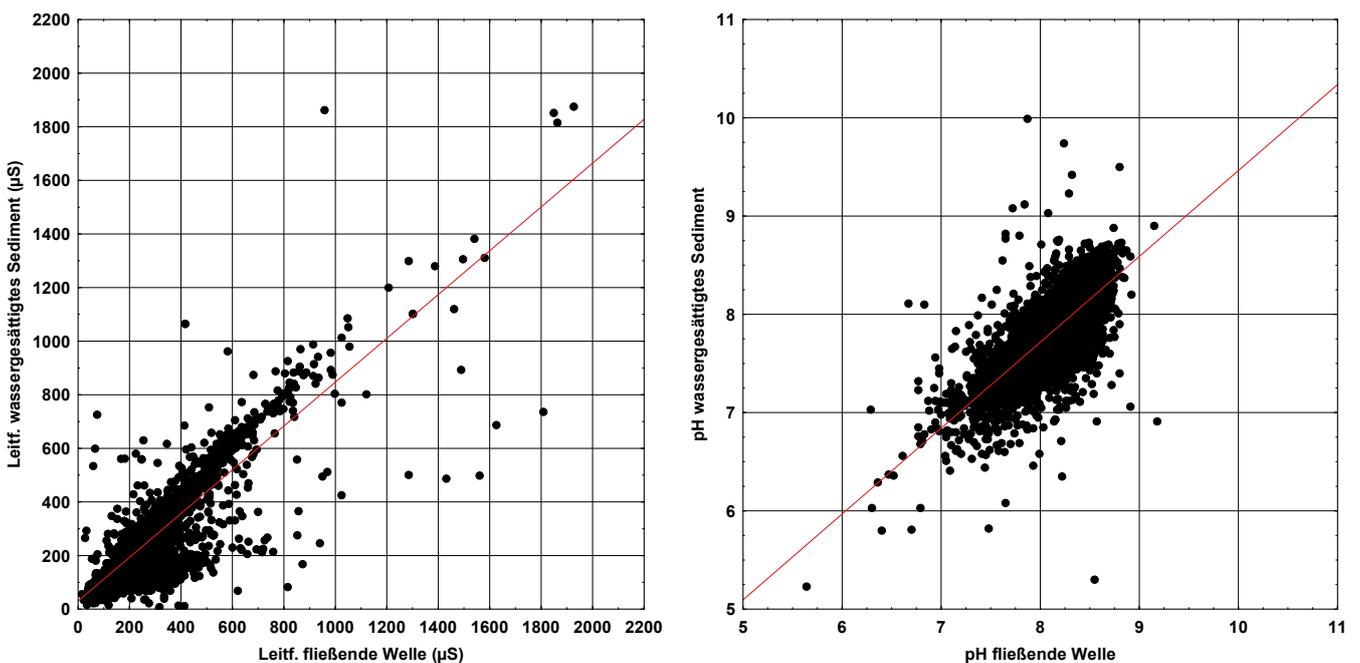


Abb. 162. Bach- und Flusssedimentgeochemie / Bundesländerprojekte – Geländemessdaten; links: Vergleich elektrische Leitfähigkeit, fließende Welle und wassergesättigtes Sediment; rechts: Vergleich pH-Werte, fließende Welle und wassergesättigtes Sediment.

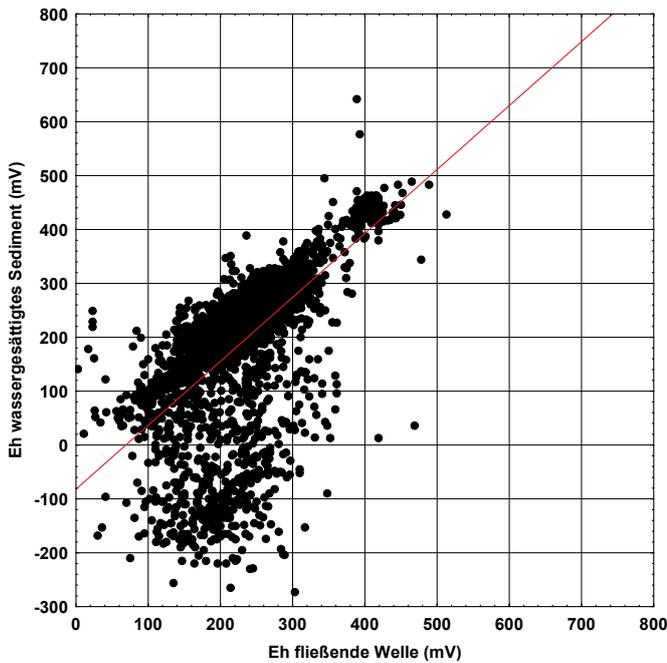


Abb. 163.
 Bach- und Flusssedimentgeochemie / Bundesländerprojekte – Geländemessdaten; Vergleich Eh fließende Welle und wassergesättigtes Sediment.

tung Umweltgeochemie wurden in die Bundesländerprojekte ab 1991 zur Durchführung übernommen und umfassen folgende ergänzende Untersuchungsschritte:

- Ausführungen zusätzlicher Messungen am Beprobungspunkt an der fließenden Welle und dem Sediment zur Charakterisierung der hydrophysikalischen Randbedingungen zum Beprobungszeitpunkt.
- Ausweitung der Beprobung und Analytik auf die Kornfraktion < 0,04 mm (40 µm).
- Erweiterung der zu analysierenden Elementpalette durch umweltrelevante Indikatorelemente (wie z.B. Cadmium, Quecksilber etc.).

Die Beschreibung des hydrophysikalischen Umfelds am Probepunkt zum Beprobungszeitpunkt erweist sich als ein wichtiger Baustein zur Dateninterpretation. Als Standard entwickelte sich dabei Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Eh-Wert sowohl an der fließenden Welle, als auch am wassergesättigten Sediment zu messen. Im Zuge der Projekte für Nieder- und Oberösterreich wurde leider nur ein Teil dieser Parameter erhoben. An Hand der Messdaten können viele Antworten und Hinweise abgeleitet werden, wie beispielsweise:

- Je nach Gewässer hat die Umgebungstemperatur einen hohen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Wassertemperatur (siehe große Streuung in Abbildung 161, linke Grafik).

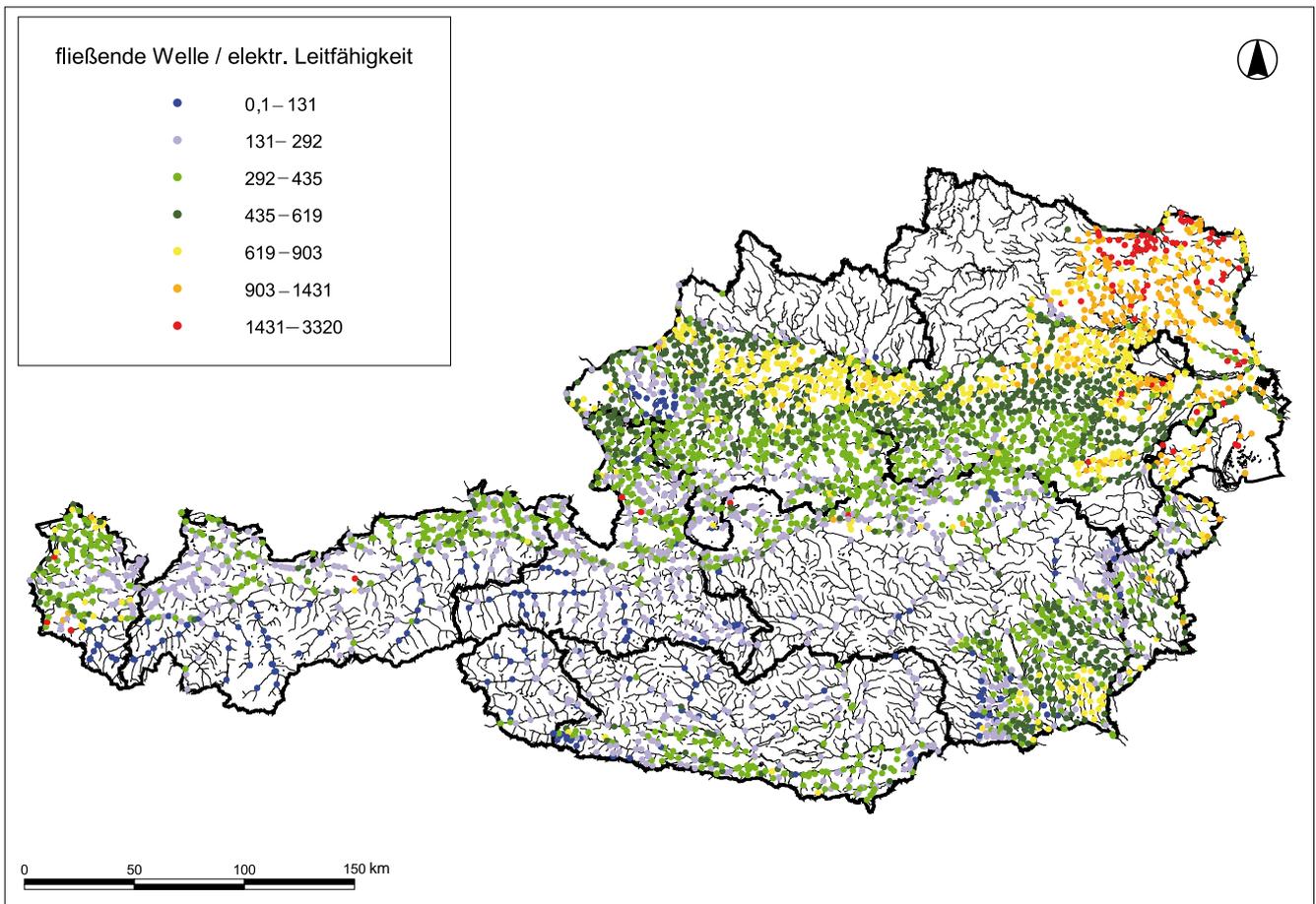


Abb. 164.
 Bach- und Flusssedimentgeochemie / Bundesländerprojekte – Geländemessdaten; räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in der fließenden Welle.

- Zwischen Wassertemperatur und der Temperatur des wassergesättigten Sedimentes besteht überwiegend eine hohe Korrelation; aber auch da gibt es Ausnahmen (Abb. 161, rechte Grafik). Ausnahmen sind, wenn der Austausch zwischen fließender Welle und Sediment behindert oder unterbrochen ist.
- Auch die Streuung in den Messwerten der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes weisen darauf hin, dass das hydrochemisch-hydrophysikalische Milieu in fließender Welle und Sediment nicht immer parallel läuft (Abb. 162).
- Obwohl die Beprobungen sich über mehrere Jahre erstreckten und sehr unterschiedliche Wetterbedingungen angetroffen wurden, bilden sich z.B. in der räumlichen Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit – als Vergleichsparameter zum jeweiligen Mineralisationsgrad der fließenden Welle – die regionalen und überregionalen Trends der Hydrochemie ab (Abb. 163).
- Insbesondere die Messwerte der jeweiligen Eh-Werte zeigen, dass in vielen Fällen eine fließende Welle (mit positiven Eh-Werten) über einem, meist feinkörnig, dichten Sediment mit negativen Eh-Werten fließt (Abb. 164) Zwischen diesen beiden Kompartimenten besteht in diesen Fällen kaum Austausch. Räumlich treten diese Situationen hauptsächlich im Bereich der

neogenen Becken mit Feinsedimenten im Untergrund auf – wie z.B. in der Oberösterreichischen Molasse, dem Weinviertel oder dem Wiener Becken (Abb. 165).

Im Vorlauf zur systematischen Multielementanalytik wurden im Rahmen der Bundesländerprojekte Spezialmessungen und Spezialanalysen ausgeführt. Dies betraf auf der einen Seite die Erfassung der Trocken- und Glühverluste (bei 110 °C, 360 °C und 1.000 °C; Abb. 166), auf der anderen Seite die Messung von Kohlenstoff und Schwefel. Letztere Parameter dienen auch zur Abschätzung der organischen Anteile in den Proben als möglicher Störfaktor bei der Analytik. Die Kombination von Glühverlusten einerseits und der Konzentration von (organischem/anorganischem) Kohlenstoff andererseits lässt nicht nur Rückschlüsse auf den organischen Anteil (z.B. Humus) in der Probe, sondern auch auf den CO₂-Gehalt zu. Für die Karbonatgebiete liegt damit ein weiterer Kontrollparameter vor. Anhand der entsprechenden Daten aus dem Projekt „Umweltgeochemie Steiermark“ lässt sich das nachvollziehen. In Abbildung 167 (linke Grafik) lässt sich der jeweilige Glühverlustanteil trennen, der auf CO₂ bzw. auf organisches Material zurückzuführen ist (rote Ellipse). In Abbildung 167 (rechte Grafik) bestätigt die straffe Korrelation zwischen Glühverlust bei 1.000 °C und anorganischem Kohlenstoff, dass aus dem Glühverlust bei 1.000 °C direkt auf den CO₂-Gehalt geschlossen werden kann.

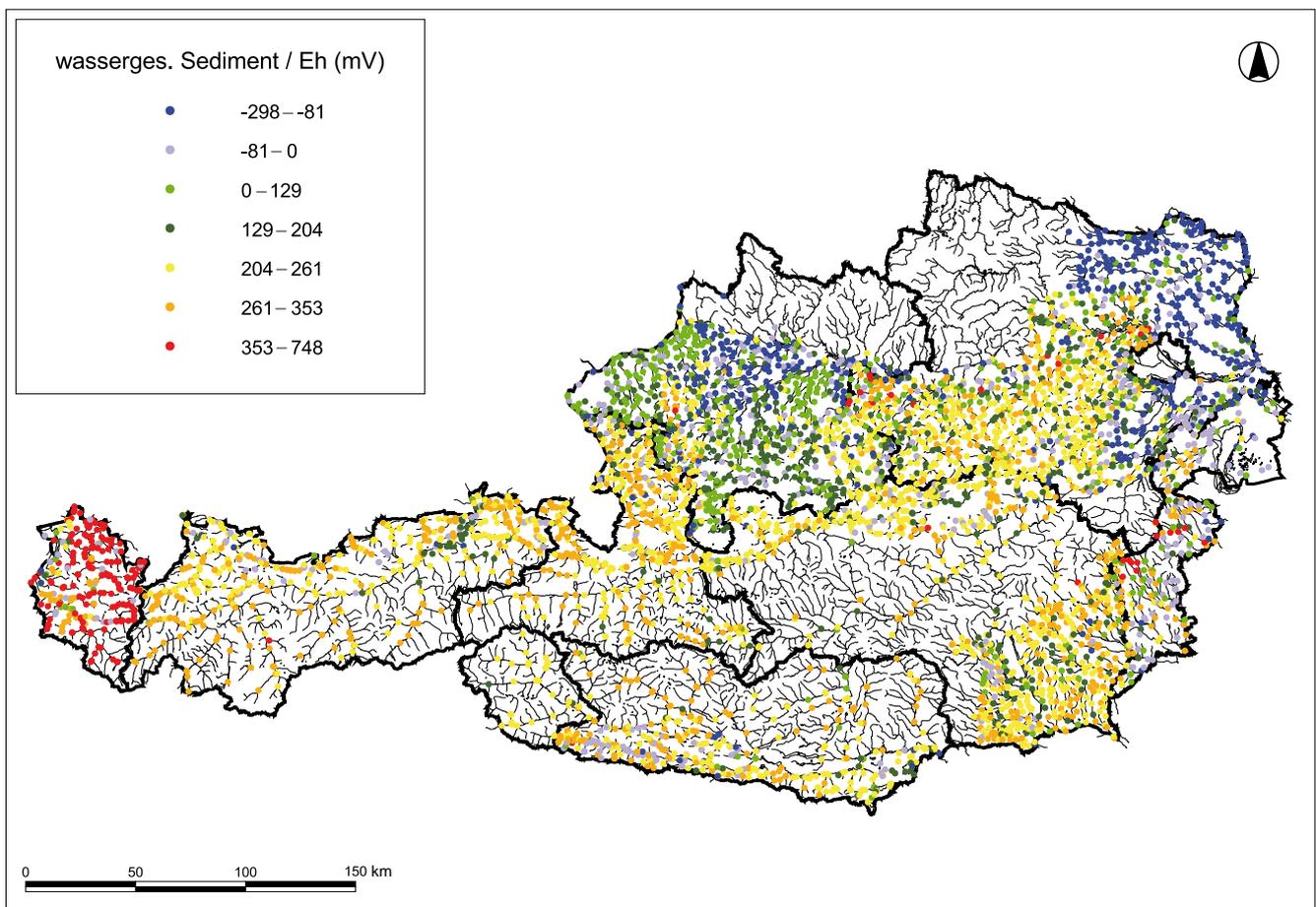


Abb. 165. Bach- und Flusssedimentgeochemie / Bundesländerprojekte, Ostösterreich – Geländemessdaten; räumliche Verteilung von Eh in wassergesättigten Sedimenten.

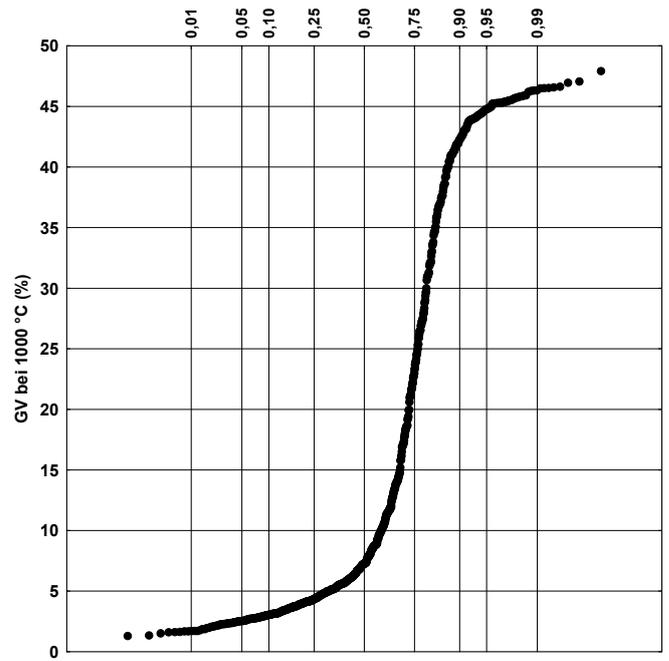
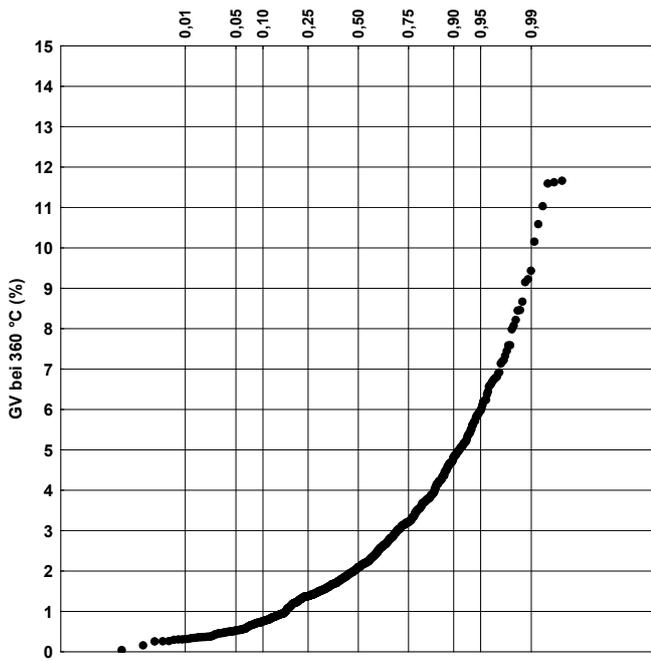


Abb. 166.
 Bach- und Flusssedimentgeochemie / Steiermark – Sondermessdaten; links: Verteilung Glühverluste bei 360 °C, rechts: Verteilung Glühverluste bei 1.000 °C.

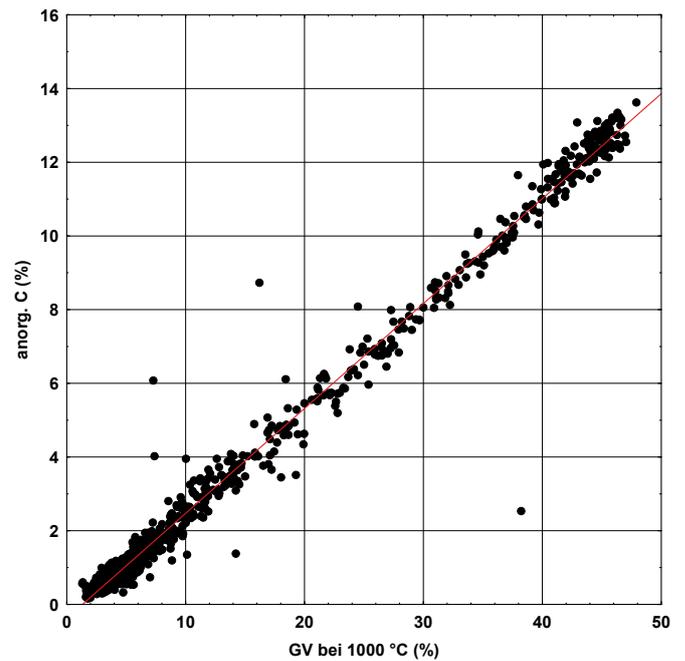
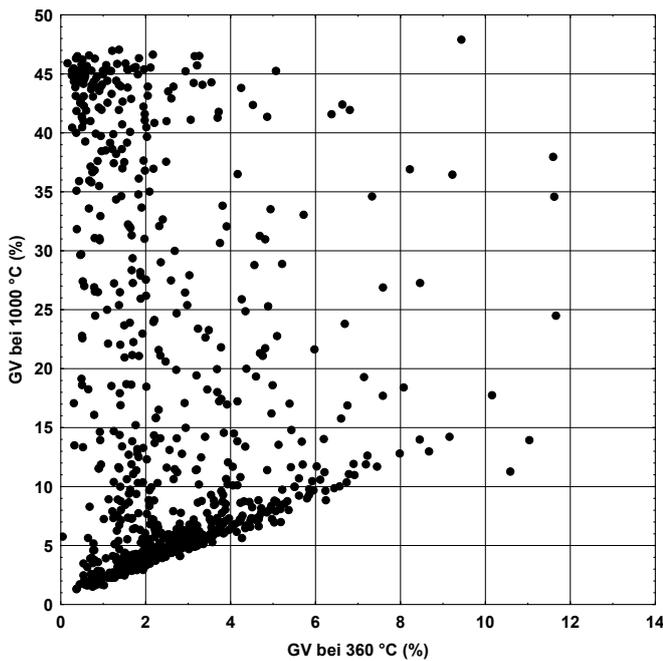


Abb. 167.
 Bach- und Flusssedimentgeochemie / Steiermark – Sondermessdaten; links: Vergleich Glühverluste bei 360 °C und Glühverluste bei 1.000 °C, rechts: Vergleich Glühverluste bei 1.000 °C und Konzentration von anorganischem Kohlenstoff.

7 Begleitende Forschung sowie Auswertungs- und Interpretationsbeispiele

7.1 Abschätzung gesteinsgeochemischer Elementgehalte und Ableitung geogener Hintergrundwerte anhand von Bachsedimentgeochemie-Daten

(SEBASTIAN PFLEIDERER)

Prinzipiell spiegeln die chemischen Inhalte einer Bachsedimentprobe die Elementgehalte der im Einzugsgebiet der Probe vorkommenden Gesteinstypen wider (MEYER et al., 1979; BÖLVIKEN et al., 1996), vorausgesetzt zur Entstehung des Bachsediments diene das gesamte Einzugsgebiet gleichermaßen als Erosionsquelle (OTTESEN et al., 1989). In Abwesenheit von natürlichen Vererzungen und anthropogen bedingten Anreicherungen können geochemische Analysedaten von aktiven Sedimenten natürlicher Bäche daher als Proxy für gesteinsgeochemische Analytik dienen. Dabei ergibt sich die Frage, wie die punktuell vorliegenden Daten auf die Elementgehalte flächig auftretender Gesteinstypen umgesetzt werden können. Der vorliegende Artikel stellt eine in umweltgeochemischen Studien verschiedener österreichischer Bundesländer angewandte Methodik vor, Bachsedimentgeochemie-Daten lithologischen Einheiten zuzuordnen und flächenhaft darzustellen.

Im Gegensatz zu chemischen Inhalten im Grundwasser oder Boden sind gesteinsgeochemische Daten von anthropogen bedingten Einträgen unabhängig. Wird Gesteinschemie jedoch von Bachsedimentproben abgeleitet, werden Kontaminationen im Umfeld von Industrie- und Siedlungsgebieten relevant, die in der Bachsedimentgeochemie die Grundgehalte der Gesteine überprägen können. Zusätzlich treten in Bachsedimentproben aus Bergbaugebieten oder natürlichen Vererzungszonen Elementgehalte auf, die weit über den Grundgehalten der jeweiligen Lithologie liegen können. Daher gilt es, mit statistischen und kartografischen Mitteln, die gesteinsgeochemischen Hintergrundwerte von den Anomalien zu trennen. Die Thematik wird in zahlreichen Publikationen sowohl in der Explorationsgeochemie, als auch in der Umweltgeochemie diskutiert (MATSHULLAT et al., 2000; REIMANN & GARRETT, 2005; FILZMOSER et al., 2005; APPLETON et al., 2008). Der zweite Teil des vorliegenden Artikels befasst sich daher mit der Ableitung geogener Hintergrundwerte für durch Bachsediment-Daten geochemisch beschriebene Gesteinstypen anhand von Beispielen aus den Bundesländern Steiermark und Kärnten.

Geochemische Daten sind sogenannte Kompositionsdaten, d.h. einzelne Elementgehalte werden immer als Teil einer Gesamtmenge in Prozent oder ppm angegeben. Dies bedeutet, dass Elementgehalte nur relative Angaben – im Verhältnis zu anderen Elementgehalten – darstellen und statistisch mit speziellen Rechenmethoden analysiert werden müssen (AITCHISON, 2003). Während diese Methoden in der Geostatistik mittlerweile häufig angewendet werden (BUCCIANI et al., 2006), haben sich Kartendarstellungen von Verhältnissen zwischen Elementgehalten in der Geochemie bisher noch nicht durchgesetzt. Deshalb erfolgen die hier dargestellten Auswertungen für einzelne Elemente. Die für Kompositionsdaten statistisch korrekten Auswertemethoden werden in Kapitel 7.2 angewendet.

Methodik der Zuordnung punktueller Bachsedimentgeochemie-Daten zu flächig verbreiteten Gesteinstypen

Ein erster Ansatz, die räumliche Verteilung chemischer Elementgehalte darzustellen, ist die Flächenverrechnung durch Interpolation zwischen Probepunkten, zum Beispiel durch die Methode der Inversen Distanzgewichtung (IDW) oder durch Kriging. IDW stellt eine deterministische Methode dar, die keine Annahmen bezüglich der statistischen Verteilung der Daten erfordert. Die Wahl von Gewichtung (Potenz der Entfernung) und Anzahl der Proben (Suchradien) ist allerdings willkürlich und kann das Ergebnis stark beeinflussen. Kriging hingegen ist eine statistische Methode, welche eine Normalverteilung und räumliche Autokorrelation der Daten voraussetzt. Aufwändige Berechnungsverfahren existieren, um Einschränkungen durch nicht normal verteilte Daten oder räumlich inhomogen verteilte Probepunkte auszugleichen (ZHANG et al., 2008). Sämtliche Interpolationsmethoden ignorieren jedoch sowohl die Verbreitung unterschiedlicher Lithologien, als auch die Grenzen morphologischer Einzugsgebiete. Durch Interpolation berechnete geochemische Karten sind daher nur geeignet, regionale Trends in der räumlichen Verteilung von Elementgehalten, respektive von Gesteinstypen, sichtbar zu machen, und dies auch nur bei einer hohen Probenpunktdichte. Eine quantitative Beschreibung der geochemischen Elementgehalte spezifischer Gesteinstypen ist aus diesen Karten nicht zu gewinnen.

Ein zweiter, insbesondere mit geografischen Informationssystemen (GIS) einfach zu realisierender Ansatz stellt der Verschnitt der Probepunkte mit geologischen Karten dar (Punkt-/Polygon-Überlagerung), wobei die Analyseergebnisse an sämtlichen, innerhalb einer lithologischen Einheit gelegenen Punkte zur Charakterisierung dieser Einheit herangezogen werden (SCHEDL et al., 2010b). Diese Art der Umlegung von Punktdaten auf die Fläche ist dann erfolgreich, wenn auf der geologischen Karte lithologisch bzw. geochemisch homogene Einheiten getrennt wurden, und wenn die Größe der Einzugsgebiete im Vergleich zu den geologischen Strukturen klein ist, also zahlreiche, lithologisch homogene Gebiete auftreten. In diesem Falle können die den lithologischen Einheiten entsprechenden Teilmengen der Datenpopulation separat ausgewertet und statistische Kennwerte wie Median, Perzentilen und Extremwerte zur quantitativen Beschreibung der gesteinsgeochemischen Elementgehalte herangezogen werden. Liegen die Einzugsgebiete der Probepunkte einer Teilmenge jedoch gehäuft außerhalb der entsprechenden lithologischen Einheit, liefert dieser Ansatz inkorrekte Ergebnisse. Eine weitere Einschränkung ist durch den Umstand gegeben, dass Probepunkte zumindest auf detaillierteren geologischen Karten, z.B. im Maßstab 1:50.000, großteils in Polygonen quartärer Talfüllungen zu liegen kommen und durch eine Verschneidung im GIS keine Beziehung zwischen Bachsediment und den im Liefergebiet anstehenden (Fest-) Gesteinen hergestellt werden kann.

Ein dritter Ansatz setzt die punktuellen Informationen der Bachsedimentgeochemie-Daten direkt mit den Liefergebieten der Probepunkte in Beziehung. ÓDOR et al. (1997) benutzen diesen Ansatz im Rahmen der geochemischen Kartierung Ungarns, indem sie Liefergebiete auf geochemischen Karen nach den Elementgehalten der Sedimentprobe einfärben. SPADONI et al. (2004) entwickeln am Beispiel eines Entwässerungssystems in Italien eine Methode der hierarchischen Gewichtung, um die chemischen Inhalte weiterer, kleinerer Teileinzugsgebiete oberhalb eines Probepunktes mit zu berücksichtigen. SCHEDL et al. (2008) filtern aus den morphologischen Einzugsgebieten (5.452 Probepunkte) im Bundesland Kärnten diejenigen heraus, deren lithologische Zusammensetzung weitgehend homogen ist, und ordnen die Analysewerte der Bachsedimentproben direkt den Gesteinstypen zu. Analog zu dem zuvor erwähnten Ansatz der Punkt-/Polygon-Überlagerung werden nach dieser Zuordnung die Daten lithologiespezifisch betrachtet und statistische Kennwerte pro Gesteinstyp abgeleitet. Diese liefergebietsorientierte Art der geochemischen Kartierung setzt Bachsedimente in einen geomorphologischen Kontext und verspricht daher die genaueste Darstellung der räumlichen Verteilung von geochemischen Elementgehalten. Die Methode eignet sich vor allem in bergigen oder hügeligen Bereichen und ist auch bei inhomogen verteilten Probepunktnetzen und geringer Probepunktdichte einsetzbar.

In den folgenden Abbildungen werden die verschiedenen Ansätze der Ableitung räumlicher Elementgehaltsverteilungen bzw. gesteinsgeochemischer Inhalte anhand eines fiktiven Beispiels verglichen. In Abbildung 168 (oben links) sind die Probepunkte, deren Einzugsgebiete, die an den Bachsedimentproben gemessenen Konzentrationen eines bestimmten Elements sowie als Unterlage die geologische Karte dargestellt, wobei hier quartäre Überlagerungen, wie Ablagerungen in Talkerben, Hangschutt oder Schwemmkegel, abgedeckt wurden. Bei der Betrachtung der Rohdaten fällt sofort auf, dass die Lithologie von Typ 1 hohe Elementkonzentrationen in den Bachsedimenten hervorruft, also wohl auch selbst das Element angereichert beinhaltet. Tatsächlich betragen die gesteinsgeochemischen Elementgehalte für Lithologie 1 circa 5.000 ppm, für Lithologie 2 circa 200 ppm. Abbildung 168 (oben rechts) zeigt das Ergebnis der Interpolation zwischen Probepunkten nach der Methode der inversen Distanzgewichtung. Die Verbreitung von Lithologietyp 1 spiegelt sich ungefähr in dem Nordwest-Südost verlaufenden, gelb eingefärbten Band (> 2.053 ppm) wider, die hohen Punkt-Konzentrationen (> 4.800 ppm) ergeben allerdings einen sichelförmigen, orange bis rot eingefärbten Bereich, der sich nicht mit der Geologie deckt. Selektiert man sämtliche innerhalb von Lithologietyp 1 liegenden Probepunkte (neun hellblaue Punkte unten links in Abbildung 168), so ergibt diese Teilmenge einen kaum erhöhten Medianwert von 1.387 ppm, insbesondere weil sich die Einzugsgebiete dreier Punkte an der Südwestgrenze von Lithologie 1 und eines Punktes im Norden über den Lithologietyp 2 erstrecken und niedrige Werte aufweisen. Unten rechts in Abbildung 168 sind nur jene vier Probepunkte selektiert, deren Liefergebiete annähernd zur Gänze innerhalb der Lithologie 1 liegen. Der Medianwert von 5.050 ppm spiegelt den geochemischen Elementgehalt des Lithologietyps 1 korrekt wider.

Automatische Berechnung morphologischer Einzugsgebiete

Um die liefergebietsorientierte Interpretation punktueller Bachsedimentgeochemie-Daten zu vereinfachen, wurden an der Geologischen Bundesanstalt (GBA) computergestützte Auswerteverfahren entwickelt, die im GIS die Abgrenzung morphologischer Einzugsgebiete und die Berechnung deren lithologischer Zusammensetzung automatisch durchführen. Die GIS-Routinen sind bei LIPIARSKI et al. (2007) und ATZENHOFER et al. (2009) beschrieben. Dabei wird, ausgehend von einem Probepunkt mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells und einem daraus abgeleiteten Fließrichtungsraaster, das Einzugsgebiet hangaufwärts bis zur Kammlinie abgegrenzt. Das resultierende Polygon wird mit einer lithologisch klassifizierten, geologischen Karte verschnitten und der Flächenanteil jeder Gesteinseinheit in Prozent der Gesamtfläche des Einzugsgebietes berechnet. Zusätzlich wird dem Polygon die Punktnummer des Probepunktes zugeordnet, um die chemische Analytik des Bachsediments (Punktinformation) und die Gesteinsanteile im Liefergebiet (Flächeninformation) in Beziehung setzen zu können. Gleichzeitig werden morphologische Parameter des Liefergebietes, wie die durchschnittliche und maximale Distanz und Steilheit des Transportweges bis zum Probepunkt quantifiziert, um Effekte durch Verwitterung und Transport nachvollziehen zu können. Bei ausgeprägter Morphologie des Geländes erzielen die GIS-Routinen verlässliche Ergebnisse, wobei die Erfolgsrate zur Abgrenzung des Liefergebietes und die Genauigkeit der abgeleiteten morphologischen Parameter durch die Qualität des Höhenmodells bestimmt wird (PFLEIDERER et al., 2015).

Ableitung gesteinsgeochemischer Elementgehalte am Beispiel von Bachsedimentgeochemie-Daten im Bundesland Kärnten

In Kärnten stehen 5.452 Bachsedimentproben zur Auswertung zur Verfügung. Bei 4.557 Probepunkten (84 %) führt die automatische Berechnung zu korrekt berechneten Einzugsgebieten, die übrigen Gebiete können wegen ungenauer Punktlage oder zu flacher Morphologie nicht automatisch bestimmt werden (SCHEDL et al., 2008). Nach Verschnitt mit der kompilierten geologischen Karte von Kärnten 1:200.000 (UNTERSWEIG et al., 2005) ergeben sich insgesamt 1.891 lithologisch homogene Liefergebiete, die sich auf die geologisch/lithologischen Einheiten unterschiedlich aufteilen. Am häufigsten sind die Gesteinstypen Glimmerschiefer (458 Liefergebiete), Paragneis (528 Liefergebiete) und Phyllit (515 Liefergebiete) repräsentiert.

Beschreibt man die gesteinsgeochemische Signatur dieser Gesteinstypen anhand der jeweiligen Bachsedimentproben, ergibt sich innerhalb der Einheiten keine ausgeprägte Variabilität der Elementgehalte, was die Homogenität der auskartierten geologisch/lithologischen Einheiten auch hinsichtlich ihrer Gesteinsgeochemie bestätigt. Um zu verifizieren, ob und in wie weit die Elementverteilungen im Bachsediment denen des Gesteins entsprechen, wurden die Bachsedimentgeochemie-Daten mit 49 gesteinsgeochemischen Analysen von Glimmerschiefern der Ostalpen (DRAGANITS, 1996; BERKA, 2000; SCHUSTER et al., 2015 sowie unpublizierte Analytik der GBA) verglichen. Beide Probenmedien wurden mittels Röntgenfluoreszenzanaly-

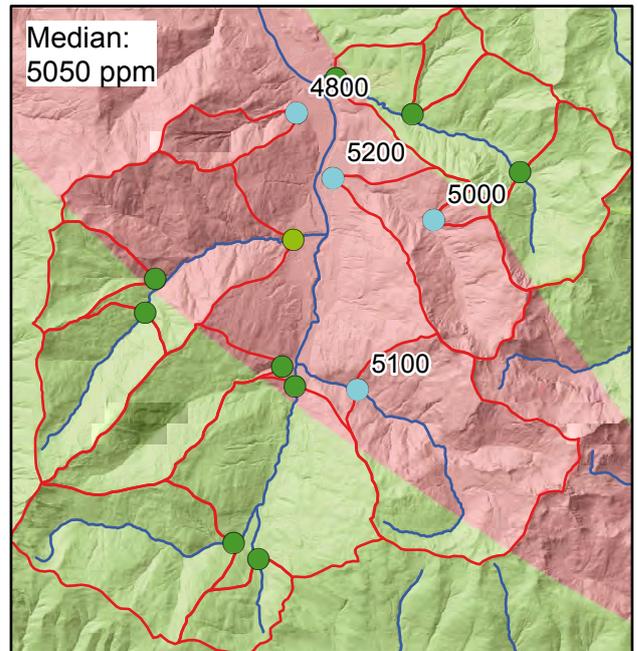
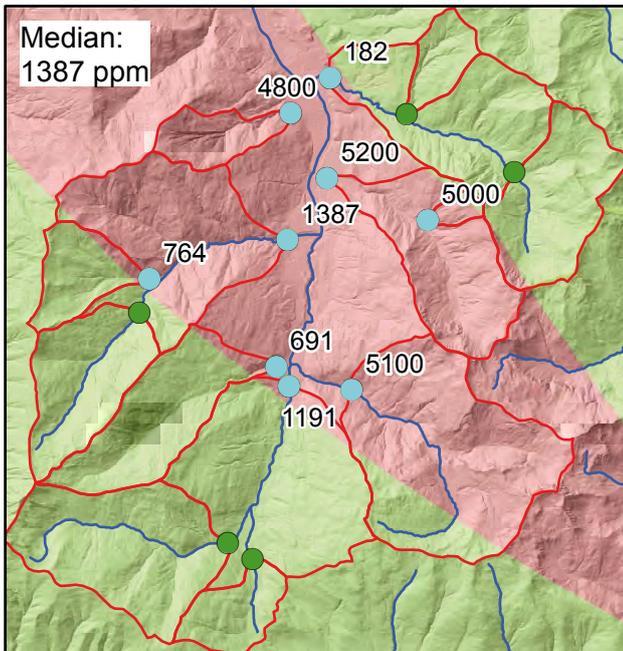
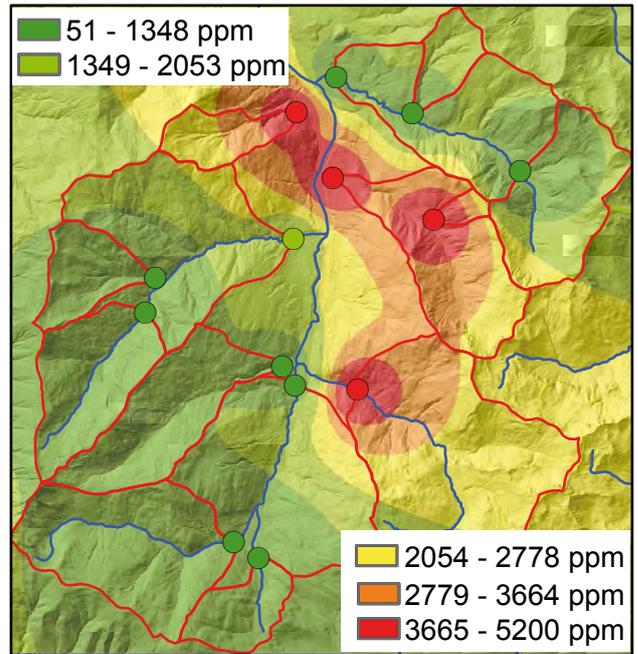
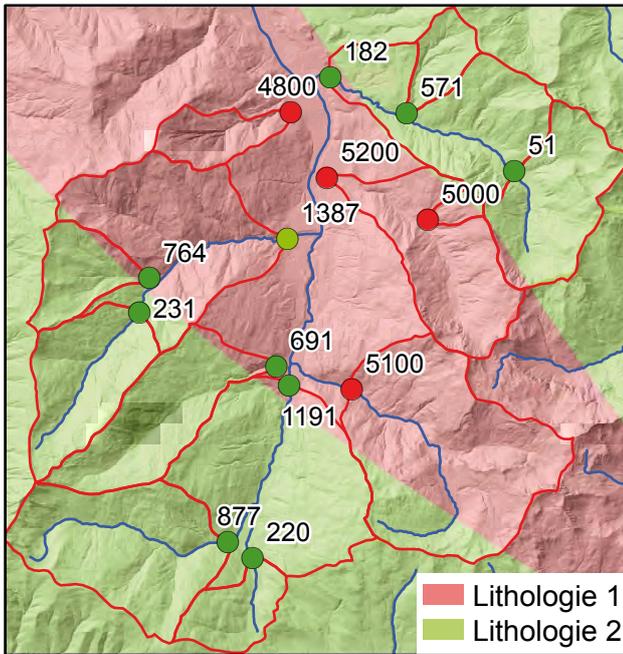


Abb. 168. Fiktives Beispiel einer Bachsediment-Studie – oben links: Probepunkte, deren Liefergebiete, Elementgehalte der Bachsedimentproben in ppm und geologische Karte (quartäre Überlagerungen abgedeckt); oben rechts: Ergebnis der Interpolation nach der Methode der inversen Distanzgewichtung; unten links: Selektion der innerhalb von Lithologietyp 1 liegenden Probepunkte (9 hellblaue Punkte) durch Punkt-/Polygon-Überlagerung. Der Medianwert der Elementgehalte dieser Proben liegt bei 1.387 ppm; unten rechts: Selektion der Probepunkte, deren Liefergebiete innerhalb von Lithologietyp 1 liegen (4 hellblaue Punkte). Der Medianwert der Elementgehalte dieser Proben liegt bei 5.050 ppm.

tik (RFA) bestimmt und sind somit direkt miteinander vergleichbar. Abbildung 169 stellt die Medianwerte der Hauptelementgehalte von Bachsediment- und Gesteinsproben dar. Die jeweiligen Elementgehalte unterscheiden sich um durchschnittlich 0,1 %, die maximale Abweichung beträgt 0,5 % bei dem Element Eisen (Fe). Die Medianwerte der Spurenelementgehalte sind in Abbildung 170 dargestellt, hier betragen die Unterschiede im Durchschnitt 18,5 ppm, der größte Unterschied tritt bei dem Element Barium (Ba; 94 ppm Differenz) auf.

Statistische Ableitung geogener Hintergrundwerte am Beispiel des Elements Arsen in Bachsediment-geochemie-Daten im Bundesland Steiermark

Eine subjektive Möglichkeit, Hintergrundwerte von vererzungsbedingten Anomalien zu trennen, besteht darin, Gebiete fernab von bekannten Bergbauen oder Mineralvorkommen zu untersuchen und manuell einen Schwellenwert zu definieren (ROSE et al., 1979). Gleichmaßen kann der Einfluss anthropogener Einträge dadurch umgangen wer-

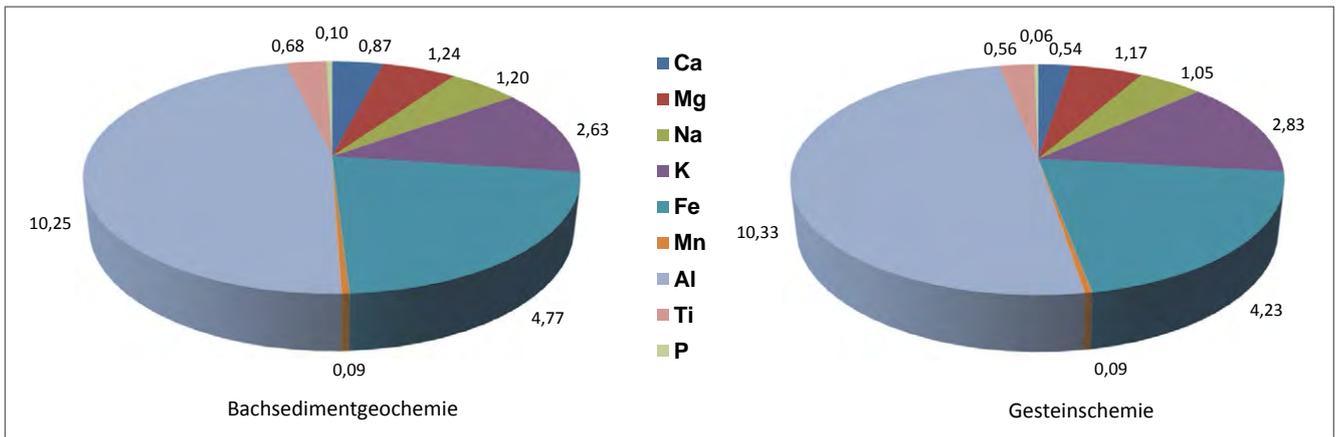


Abb. 169. Hauptelementgehalte von Bachsedimentproben mit Liefergebieten aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 458 Proben) und von Gesteinsproben aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 49 Proben); Angaben in %.

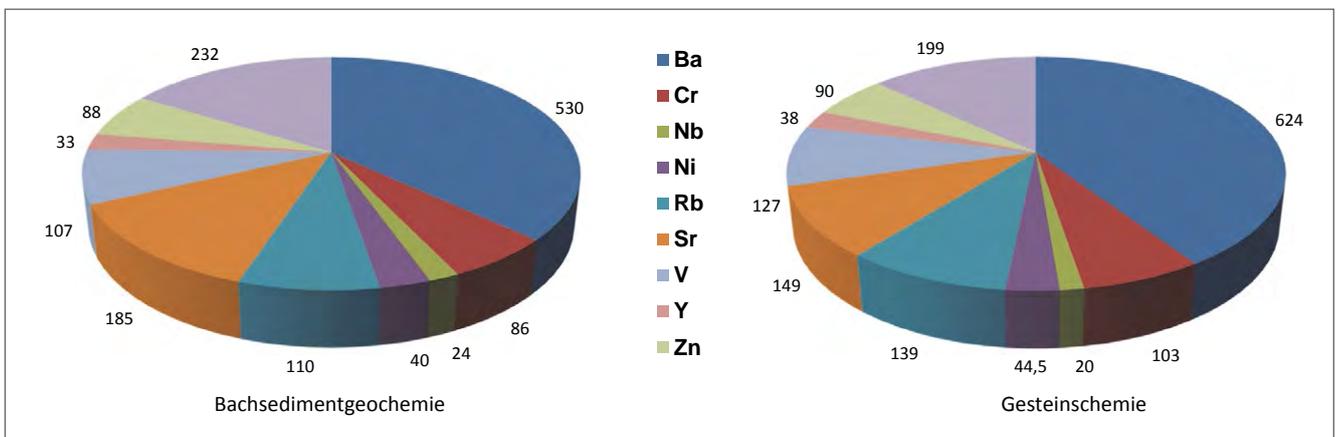


Abb. 170. Spurenelementgehalte von Bachsedimentproben mit Liefergebieten aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 458 Proben) und von Gesteinsproben aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 49 Proben); Angaben in ppm.

den, dass Probepunkte außerhalb von Industrie- und Siedlungsgebieten analysiert werden. Zusätzlich existieren statistische Methoden, um Hintergrund- und Schwellenwerte zu bestimmen. REIMANN et al. (2005) empfehlen, anstelle eines Wertes einen Bereich für Hintergrundwerte anzugeben, um lokalen und regionalen Schwankungen Rechnung zu tragen. Zum anderen schlagen die Autoren vor, im Falle nicht homogen verteilter Daten den Schwellenwert über robuste statistische Verfahren, nämlich als Medianwert \pm der zweifachen mittleren Abweichung zu berechnen.

Ein Beispiel einer liefergebietspezifischen Auswertung von Bachsedimentgeochemie-Daten zur Ableitung von geogenen Hintergrundwerten zeigen die Abbildungen 171 und 172. Unter Zugrundelegung der nach 25 geochemisch ähnlichen Gesteinseinheiten gruppierten geologischen Karte 1:200.000 der Steiermark (SCHWENDT, 1998) wurde die lithologische Zusammensetzung der Liefergebiete von 9.074 Probepunkten berechnet (SCHEDL et al., 2010b). Darunter befinden sich 1.857 lithologisch homogen aufgebaute Gebiete, die in Abbildung 171 nach dem Arsengehalt der jeweiligen Bachsedimentprobe eingefärbt dargestellt sind.

Visuell fallen die Anomalien südwestlich von Mürzschlag-Kindberg-Bruck an der Mur und von Weißkirchen in der Steiermark auf, die mit natürlichen Arsen-Vererzungen

zusammenhängen (GÖD & HEISS, 1996). Der geogene Hintergrundwert scheint im Bereich 4 bis 10 ppm zu liegen, zur Abtrennung zwischen Hintergrund und Anomalie kann visuell ein Schwellenwert von 20 ppm festgelegt werden. Rechnerisch ergibt sich jedoch ein klassischer Schwellenwert (Mittelwert plus zweifache Standardabweichung) von 68,7 ppm und ein robuster Schwellenwert (Medianwert plus zweifache mittlere Abweichung) von 12 ppm (Tab. 13). Es ist anzumerken, dass die Daten weder normal noch log-normal verteilt sind. Ausreißer, definiert als Werte größer als das 75 %-Perzentil + 1,5 x (75 %-Perzentil - 25 %-Perzentil) liegen oberhalb 19,2 ppm und betreffen 12 % der Daten. Extremwerte, definiert als Werte größer als das 75 %-Perzentil + 3 x (75 %-Perzentil - 25 %-Perzentil), liegen oberhalb 28,2 ppm und betreffen 7 % der Daten.

Insgesamt werden 19 der 25 Gesteinseinheiten durch die homogenen Liefergebiete abgedeckt und können durch die chemische Analytik der Bachsedimentproben direkt beschrieben werden. Die Gleisdorf-Schichten („Tertiär“) und die Jura-/Unterkreide-Formationen der Kalkalpen sind allerdings durch eine zu geringe Anzahl von Liefergebieten repräsentiert, um statistisch belastbare Aussagen zu treffen. Die Verteilung der Arsengehalte innerhalb der Gesteinseinheiten ist in Abbildung 172 als Tukey-Boxplot dar-

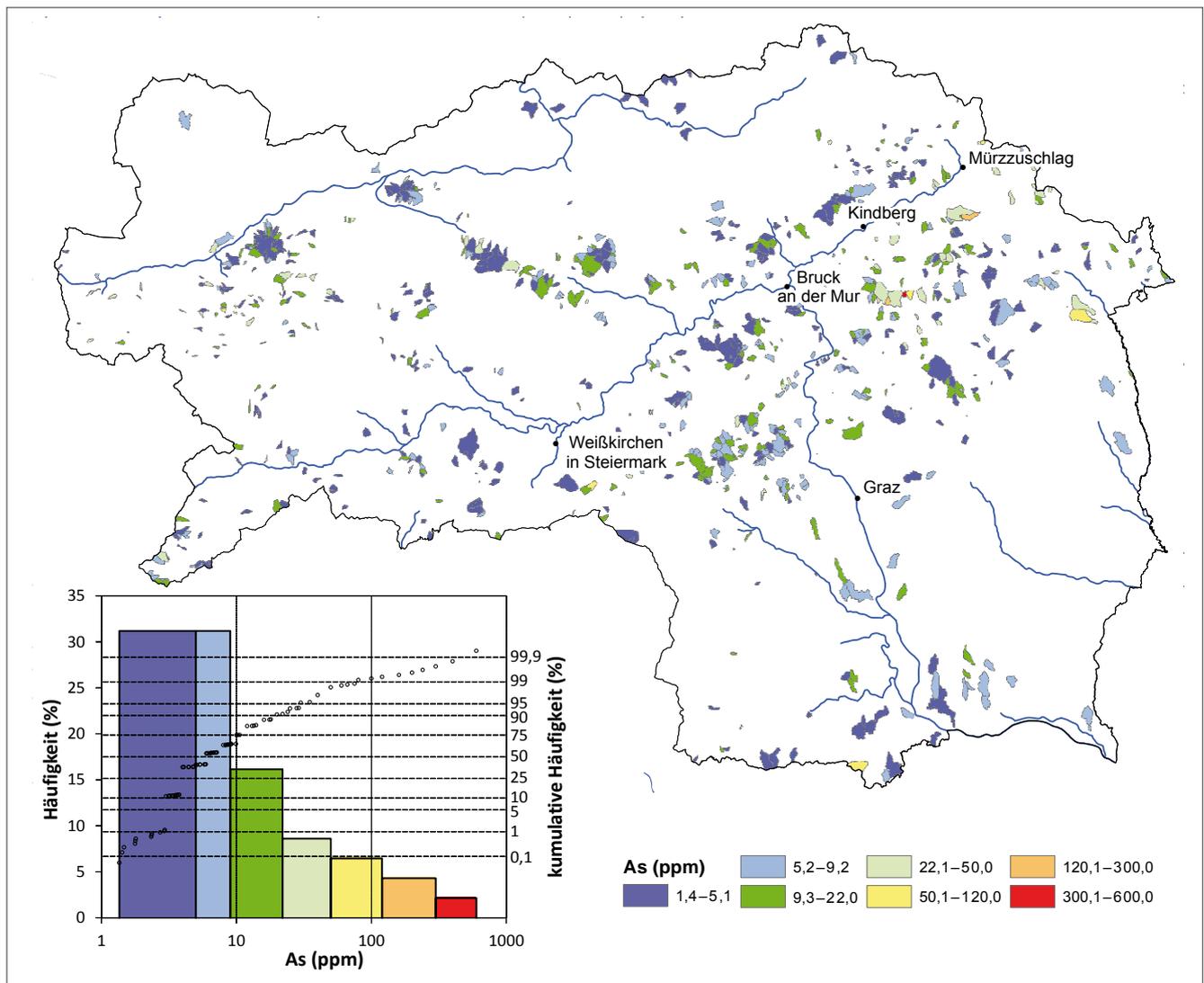


Abb. 171. Lithologisch homogene Liefergebiete von Bachsedimentproben der Steiermark, eingefärbt nach As-Gehalten.

Minimalwert	Medianwert (MEDIAN)	Mittelwert (MEAN)	Maximalwert	Standard- abweichung (SD)	MEAN + 2 SD	Mittlere absolute Abweichung (MAD)	MEDIAN + 2 MAD
1,3	6,0	11,7	600	28,5	68,7	3,0	12

Tab. 13. Statistische Kennwerte der Arsengehalte (ppm) von Bachsedimentproben aus homogenen Liefergebieten der Steiermark.

gestellt (TUKEY, 1977). Der anhand von Abbildung 171 manuell definierte Schwellenwert lässt sich in Abbildung 172 generell nachvollziehen, wobei zwischen den Gesteinseinheiten Unterschiede erkennbar werden. Die Wertebereiche für geogene Hintergrundwerte (25 %-Perzentil – 75 %-Perzentil) und robuste Schwellenwerte sind in Tabelle 14 aufgelistet.

Diskussion

Der Vergleich unterschiedlicher Methoden der geochemischen Kartierung (Abb. 168) zeigt, dass die liefergebietsspezifische Auswertung gegenüber der Interpolation

zwischen Probepunkten oder der Punkt-/Polygon-Überlagerung die aufwändigste, aber genaueste Methode ist, die geochemische Information von Bachsedimentproben lithologiespezifisch auf die Fläche umzusetzen. Die Methode ist unabhängig von der Probendichte, wobei die Anzahl homogener Liefergebiete den Grad der Flächenabdeckung und die Vollständigkeit der Liste beschriebener Gesteinstypen bestimmt (Abb. 171, 172). Durch Automatisierung der Liefergebietsberechnung und -charakterisierung mithilfe eines Höhenmodells und digitaler geologischer Karte ist der Aufwand dieser Methode hinsichtlich der erzielten Ergebnisse zu rechtfertigen.

	Hintergrundwert (25 %-Perzentil–75 %-Perzentil)	robuster Schwellenwert (MEDIAN + 2 MAD)
Quartär i.A.	5,8–9,7	14,2
„Tertiär“ / Stegersbach Schichten	4,6–10	12,0
„Tertiär“ / Badenium	4–6,6	11,9
„Tertiär“ / Karpatium	2,9–4	11,1
jüngeres „Tertiär“ inneralpin	4–10	12,4
Kalkalpen / Gosau	6–12	21,9
Kalkalpen / Kalke und Dolomite der Mittel- bis Obertrias	2,7–4,1	11,5
Kalkalpen / „Permoskyth“	4–8,7	10,9
Altpaläozoikum i.A. außer basische Serien und Phyllite	4–12	13,9
Altpaläozoische vulkanogene Folgen und Phyllite	5–10,1	14,4
Grauwackenzone / Karbon	4–11	21,9
Grauwackenzone / Schiefer	4–10	11,9
Grauwackenzone / Porphyroid	4–7,5	10,9
Zentralalpine Sedimente	4–10	13,9
Kristallin / basische und ultrabasische Serien	4–8	11,9
Kristallin / Granite und Orthogneise	4–13	14,9
Kristallin / Paragneise	4–12	11,9

Tab. 14.
Geogene Hintergrundwerte und Schwellenwerte von Arsen (ppm) für lithologische Einheiten der Steiermark.

Abweichungen zwischen den Elementgehalten des Gesteins im (homogenen) Liefergebiet einer Bachsedimentprobe und des Bachsediments selbst können durch verschiedene Prozesse verursacht werden. Chemische Verwitterung und Lösungsvorgänge können Elemente ab- oder anreichern, selektiver Transport von Verwitterungsprodukten je nach Korngröße kann das Spektrum ebenfalls verschieben. Diese Effekte sind je nach Mineralbestand des Gesteins und nach Länge und Steilheit des Transportweges unterschiedlich ausgeprägt. In Anbetracht dieser Störfaktoren erscheint die in den Abbildungen 169 und 170 dargestellte Übereinstimmung zwischen den Gehalten an Haupt- und Spurenelementen überraschend gut. Lithologisch homogen zusammengesetzte Liefergebiete finden sich meist in den oberen, kleinen Teileinzugsgebieten eines Entwässerungssystems und sind durch kurze Transportwege charakterisiert. Dies trägt dazu bei, dass selektive Transportmechanismen keine zu große Rolle spielen. Selektive Lösung einzelner Elemente aus verwitterten Mi-

neralkörnern scheint bei Glimmerschiefern ebenfalls unbedeutend zu sein. Die Ableitung des Chemismus anderer Gesteinstypen aus Bachsedimentgeochemie-Daten sowie die Verifizierung anhand gesteinsgeochemischer Analytik sind derzeit in Bearbeitung. Weitere Studien sind geplant, um die Effekte der Elementverschiebung durch Verwitterung und Transport zu quantifizieren.

Die Möglichkeit der rein statistischen Berechnung von Hintergrundwerten wird von zahlreichen Autoren in Frage gestellt (MATSCHULLAT et al., 2000; REIMANN & GARRETT, 2005). Die hier vorgestellte Methode der liefergebietsspezifischen Auswertung von Bachsedimentgeochemie-Daten erlaubt die direkte Beschreibung der Verteilung von Elementgehalten separat für jeden Gesteinstyp (Abb. 172). Bei der Angabe eines Hintergrund-Wertebereiches pro Gesteinstyp geht allerdings die Information über regionale Verteilungen der Elementgehalte verloren. Regionale Trends innerhalb einer lithologischen Einheit können nur über Kartendarstellungen erfasst und beschrieben werden.

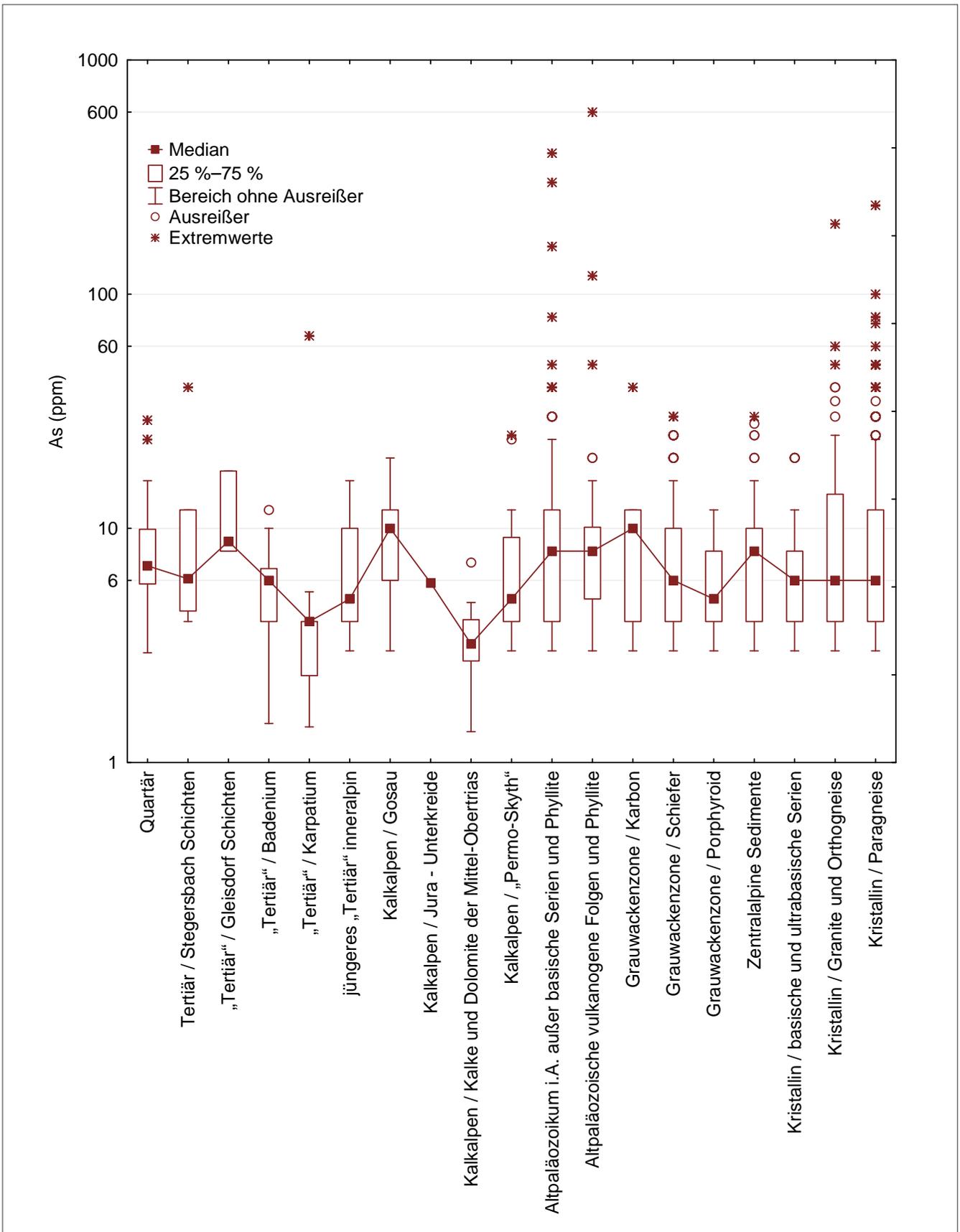


Abb. 172. Arsengehalte innerhalb lithologischer Einheiten der geologischen Karte der Steiermark 1:200.000 (SCHWENDT, 1998).

7.2 Die Auswertung geochemischer Analysen von Bachsedimenten mit statistischen Methoden für Kompositionsdaten am Beispiel des Weinsberger Granits

(HEINZ REITNER, PETER FILZMOSER, MANFRED LINNER & HERBERT PIRKL)

Die Daten geochemischer Analysen (Angaben in Gewichtsprozent und mg/kg bzw. ppm) werden in der Statistik als Kompositionsdaten betrachtet und mit speziellen, für diese Art von Daten entwickelten Methoden ausgewertet (AITCHISON, 1986, 2003). Die Verhältnisse der Elementgehalte werden dabei als relevante Information betrachtet. Diese können unter Anwendung geeigneter Transformationen mit speziellen Methoden der multivariaten Statistik ausgewertet werden (PAWLOWSKY-GLAHN et al., 2015). An einem Teildatensatz der Bachsedimentanalysen soll im folgenden Beitrag beispielhaft eine Auswertung mittels der Methoden für Kompositionsdaten dargestellt werden (REITNER et al., 2014). Für die zugrundeliegenden mathematischen Methoden bzw. für deren Beweisführung und Diskussion wird auf die oben genannte Literatur verwiesen.

Für das Beispiel der Auswertung mit statistischen Methoden für Kompositionsdaten wurden geochemische Analysen der Bachsedimente (THALMANN et al., 1989a, b) in der Böhmisches Masse, im Gebiet des Weinsberger Granits ausgewählt. Der Weinsberger Granit ist Teil des Südböhmischen Batholiths und wird als ein früher Bestandteil in der zeitlichen Abfolge der Granitoide betrachtet (FINGER & HÖCK, 1986; BREITER, 2010), die im Zuge der variszischen Gebirgsbildung im Moldanubikum intrudierten (LINNER et al., 2011). Der Weinsberger Granit besitzt verbreitet

I-Typ-Eigenschaften, zeigt aber auch S-Typ-Einfluss (LIEW et al., 1989) und wird als Biotitgranit mit sehr grob porphyrischem Kalifeldspat beschrieben, der Mineralbestand umfasst durchschnittlich 33 % Kalifeldspat, 33 % Plagioklas, 20 % Quarz sowie 8–12 % Biotit (KURAT, 1965). Zusätzlich treten die Akzessorien Apatit, Ilmenit, Monazit, Orthit/Allanit, Xenotim und Zirkon auf (VELLMER & WEDEPOHL, 1994). Im Verbreitungsgebiet des Weinsberger Granits sind häufig Ganggesteine (Aplit, Pegmatit, Lamprophyr) sowie Alterationen an Störungszonen und im Kontakt zu Nebengesteinen zu beobachten (FRASL & FINGER, 1991), wobei der Volumsanteil dieser Lithologien äußerst gering ist. Für die interne Gliederung des Weinsberger Granits (FINGER & HAUNSCHMID, 1988) wurde das Auftreten unterschiedlicher Zirkonfrachten (STÖBICH, 1992) sowie Sr-Isotope (GERDES, 2001) herangezogen.

Die statistischen Kennwerte ausgewählter Elemente von 19 gesteinsgeochemischen Analysen des Weinsberger Granits (Quelle: GERDES, 2001) zeigt Tabelle 15. Der für die Auswertung gewählte Datensatz der Bachsedimente (< 180 µm) besteht aus 1.607 Analysen der Hauptelemente Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P und Ti, sowie ausgewählter Spurenelemente (Ba, Ce, Cr, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sr, V, und Zr). Die statistischen Kennwerte der Analyseergebnisse sind in Tabelle 16 enthalten.

	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	Mg (%)	Mn (%)	Na (%)	P (%)	Ti (%)
Maximum	9,21	3,29	5,35	4,65	1,51	0,085	2,63	0,49	0,83
Median	8,15	1,49	2,43	4,28	0,51	0,039	2,28	0,11	0,38
Minimum	7,25	0,79	1,58	2,78	0,26	0,023	1,96	0,06	0,17
Spannweite	1,96	2,5	3,77	1,87	1,25	0,06	0,68	0,43	0,67

	Ba (ppm)	Ce (ppm)	La (ppm)	Nb (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	V (ppm)	Zr (ppm)
Maximum	2.650	221	106	29	304	947	103	670
Median	951	122	58	19	199	197	35,5	298
Minimum	431	60	31	13	157	75	17	139
Spannweite	2.219	161	75	16	147	872	86	531

Tab. 15.

Statistische Kennwerte ausgewählter Haupt- und Spurenelemente gesteinschemischer Analysen des Weinsberger Granits (Quelle: GERDES, 2001), N = 19.

	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	Mg (%)	Mn (%)	Na (%)	P (%)	Ti (%)
Maximum	12,21	5,75	8,92	4,95	3,02	0,445	4,03	0,97	2,98
Median	8,88	1,29	2,48	2,31	0,36	0,077	1,76	0,16	0,668
Minimum	4,14	0,03	0,01	0,05	0,05	0,015	0,1	0,05	0,05
Spannweite	8,07	5,72	8,91	4,9	2,97	0,43	3,93	0,92	2,93

	Ba (ppm)	Ce (ppm)	Cr (ppm)	Ga (ppm)	La (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	V (ppm)	Zr (ppm)
Maximum	2.286	3.590	235	91	6.732	200	212	263	923	158	9.820
Median	439	424	26	26	226	31	20	123	157	31	1.504
Minimum	10	10	10	3	10	5	5	10	10	10	10
Spannweite	2.276	3.580	225	88	6.722	195	207	253	913	148	9.810

Tab. 16.

Statistische Kennwerte ausgewählter Haupt- und Spurenelemente von Bachsedimenten im Bereich des Weinsberger Granits (Quelle: THALMANN et al., 1989b), N = 1.607.

Bei einem Vergleich der statistischen Kennwerte der gesteinsgeochemischen Analysen mit den Kennwerten der Analysen der Bachsedimente ist eine Erhöhung des Range (Spannweite) bei mehreren Elementen der Bachsedimente sichtbar, auf Grund höherer Maximalwerte und niedrigerer Minimalwerte. Bei den Hauptelementen Al, Fe, Mn und Ti ist zusätzlich eine geringe Erhöhung der Medianwerte bei den Bachsedimentanalysen zu beobachten, während die Medianwerte der Hauptelemente Ca, K, Na, Mg sowie der Spurenelemente Ba, Rb und Sr bei den Bachsedimentanalysen etwas geringere Werte aufweisen. Diese Verschiebung weist auf eine stärkere chemische Verwitterung von Alkali- und Erdalkalielelementen hin. Bei den Spurenelementen der Bachsedimente tritt eine Erhöhung der Gehalte an Ce, La und Zr mit vier bis fünffach höheren Medianwerten und vielfach höheren Maximalwerten auf, womit eine hydrodynamische Anreicherung von Schwermineralen wie Zirkon oder Monazit angezeigt ist. Andere Spurenelemente wie Ba, Rb und Sr zeigen hingegen nahezu unveränderte Spannweiten in den Bachsedimenten, wodurch auch ein Beitrag von chemisch unverwitterten Feldspäten (Kalifeldspat und Plagioklas), als den Hauptträgern dieser Spurenelemente, erkennbar ist. Bei den Spurenelementen Nb und V tritt ein geringerer Unterschied im Vergleich zu den Gesteins- und Bachsedimentanalysen auf. Die beobachtbaren Unterschiede der gesteinschemischen Analysenwerte zu den Analysen der Bachsedimente können insgesamt als das Ergebnis von An- und Abreicherungsprozessen im Zuge der Verwitterung, des Transports und der Sedimentation der Bachsedimente betrachtet werden (THALMANN et al., 1989b; REIMANN, 1987).

Für die bivariate Auswertung der Verhältnisse der Kompositionsdaten kann eine Variationsmatrix verwendet werden (AITCHISON, 1986, 2003; THIÓ-HENESTROSA & COMAS, 2011). Die Zahlenwerte oberhalb der Matrixdiagonale zeigen das Ausmaß der Variation der (logarithmierten) Verhältnisse der Elementpaare, die Werte unterhalb der Diagonale stellen die Mittelwerte der logarithmierten Verhältnisse dar. Negative Zahlenwerte weisen dabei auf einen Überhang der in den Spaltenköpfen der Tabelle oben eingetragenen Elemente in den jeweiligen Verhältnissen hin.

Tabelle 17 zeigt die Verhältnisse der Hauptelemente in den Bachsedimenten, dabei sind die geringer variierenden Verhältnisse in blauen Farbtönen gehalten, mit roten Farbtönen werden Verhältnisse gekennzeichnet, die eine stärkere Variation aufweisen. Das Elementverhältnis Al zu K zeigt die geringste Variation, ebenfalls geringe Variation zeigen die Verhältnisse Al/Na, Ca/Fe und Ca/Na sowie Fe/Mg und Fe/Mn und Mn/Ti. Als stärker variierend werden die Elementverhältnisse Al/Mg und Al/Ti, Ca/K, K/Mg und K/Mn sowie Mg/Mn, Mg/Na, Mg/P und Mg/Ti farblich markiert. In den negativen Werten der Mittelwerte der Verhältnisse der Hauptelemente zu Aluminium wird das relative Überwiegen des Aluminiumanteils in den Elementgehalten sichtbar.

Die Variationsmatrix der Spurenelemente zeigt geringe Variation besonders bei den Elementverhältnissen Ba/Sr, Ce/La, Cr/Ni und Ga/Rb (Tab. 18). Stärkere Variation zeigt besonders das Elementverhältnis La/V bzw. auch die Verhältnisse von La und auch Zr zu einem Großteil der anderen Spurenelemente. Negative Mittelwerte zeigen die Verhältnisse zu den Spurenelementen Ba (in Kalifeldspat), Ce und La (in Monazit), deren Gehalte damit als dominierend ausgewiesen werden.

Mit den Einträgen in der Variationsmatrix werden die Kovarianzen der paarweisen Elementgehalte dargestellt. Diese können als Ergebnis der stöchiometrischen Verhältnisse der Mineralphasen bzw. deren Vergesellschaftung mit Akzessorien in den Ausgangsgesteinen der Bachsedimente interpretiert werden, bzw. auch als Hinweise auf ähnliches oder unterschiedliches Verwitterungsverhalten der Mineralphasen betrachtet werden. So erscheint das im Ausgangsgestein, dem Weinsberger Granit, von den Kaliumfeldspäten und Schichtsilikaten geprägte stöchiometrische Verhältnis von Al zu K in den Bachsedimenten beibehalten zu werden und auch nach den erfolgten Verwitterungs-, Transport- und Sedimentationsprozessen weiterhin vorzuliegen. Im Gegensatz dazu scheint sich im Verhältnis der Elementgehalte Ca/K die geringere Verwitterungsresistenz der Plagioklase im Verhältnis zu den Kalifeldspäten, in Verbindung mit dem Abtransport von gelöstem Ca aus dem Bachsediment, abzubilden.

Varianz $\ln(X_i/X_j)$										
$X_i \backslash X_j$	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	K (%)	Mg (%)	Mn (%)	Na (%)	P (%)	Ti (%)	clr Varianz
Al (%)		0,217	0,152	0,024	0,304	0,244	0,112	0,217	0,296	0,076
Ca (%)	-1,918		0,128	0,290	0,207	0,183	0,113	0,195	0,215	0,074
Fe (%)	-1,254	0,664		0,201	0,125	0,098	0,143	0,169	0,182	0,035
K (%)	-1,307	0,611	-0,053		0,353	0,292	0,149	0,276	0,342	0,116
Mg (%)	-3,191	-1,273	-1,937	-1,884		0,312	0,283	0,365	0,471	0,171
Mn (%)	-4,708	-2,790	-3,454	-3,401	-1,516		0,218	0,208	0,132	0,090
Na (%)	-1,620	0,298	-0,366	-0,313	1,572	3,088		0,202	0,227	0,063
P (%)	-3,981	-2,063	-2,727	-2,674	-0,790	0,727	-2,361		0,273	0,114
Ti (%)	-2,512	-0,594	-1,258	-1,205	0,679	2,1956	-0,892	1,469		0,140
Mittelwert $\ln(X_i/X_j)$										0,880
										Varianz gesamt

Tab. 17. Variationsmatrix der Hauptelemente.

		Varianz ln(Xi/Xj)											
Xi\Xj	Ba (ppm)	Ce (ppm)	Cr (ppm)	Ga (ppm)	La (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	V (ppm)	Zr (ppm)	clr Varianz	
Ba (ppm)		0,554	0,300	0,305	0,675	0,456	0,382	0,283	0,127	0,295	0,653	0,191	
Ce (ppm)	-0,046		0,430	0,400	0,054	0,335	0,466	0,432	0,421	0,625	0,274	0,188	
Cr (ppm)	-2,840	-2,795		0,256	0,558	0,388	0,136	0,253	0,235	0,187	0,559	0,125	
Ga (ppm)	-2,848	-2,802	-0,008		0,524	0,269	0,282	0,119	0,271	0,263	0,464	0,111	
La (ppm)	-0,653	-0,607	2,187	2,195		0,461	0,617	0,601	0,503	0,815	0,335	0,292	
Nb (ppm)	-2,658	-2,613	0,182	0,190	-2,005		0,412	0,219	0,397	0,428	0,246	0,153	
Ni (ppm)	-3,147	-3,102	-0,307	-0,300	-2,494	-0,489		0,276	0,322	0,275	0,598	0,167	
Rb (ppm)	-1,315	-1,269	1,526	1,533	-0,662	1,344	1,833		0,279	0,241	0,496	0,115	
Sr (ppm)	-1,045	-0,999	1,796	1,803	-0,392	1,614	2,103	0,270		0,263	0,554	0,131	
V (ppm)	-2,641	-2,595	0,200	0,207	-1,988	0,018	0,507	-1,326	-1,596		0,656	0,193	
Zr (ppm)	1,175	1,220	4,015	4,023	1,828	3,833	4,322	2,489	2,219	3,816		0,264	
												1,930	Varianz gesamt

Tab. 18.
Variationsmatrix der Spurenelemente.

Bei den Spurenelementen zeigen die Elementverhältnisse Ce/La und Cr/Ni geringe Varianzen (Tab. 18), die durch die Dominanz dieser Verhältnisse in bestimmten Mineralen des Ausgangsgesteins vorgegeben sind. Monazit ist das wesentliche Mineral für das Ce/La-Verhältnis. Eisenhaltige Minerale (NICKEL, 1954) sind wiederum für das Cr/Ni-Verhältnis entscheidend, wofür im Weinsberger Granit vornehmlich Biotit in Frage kommt. Beide Verhältnisse werden durch die Verwitterungs- und Transportprozesse in den Bachsedimenten kaum verändert, weil sie nur durch ein Mineral bestimmt sind. Hingegen bestimmen Kalifeldspat, mit hohem Ba-Gehalt, und Plagioklas, mit hohem Sr-Gehalt, das Verhältnis dieser beiden Spurenelemente im Weinsberger Granit. Insofern verweist das ebenfalls relativ konstante Ba/Sr-Verhältnis auf ein sehr ähnliches Verwitterungs- und Transportverhalten der beiden Feldspäte.

Im Kontrast dazu stehen die nicht korrelierenden Elementpaare, z.B. La/V oder V/Zr (Tab. 18), die mit ihrer hohen paarweisen Variabilität kein gemeinsames Auftreten dieser Elementpaare in den Bachsedimenten aufzeigen, also wahrscheinlich Vanadium im Ausgangsgestein nicht in Magnetit oder Ilmenit sondern in silikatischen Mineralien (Biotit) gebunden ist.

Für eine grafische Darstellung der Kovarianz der Elementpaare (REIMANN et al., 2008; FILZMOSER, 2015) werden die einzelnen Elementgehalte jeweils in Bezug zu dem geometrischen Mittel der Elementgehalte der einzelnen Probe gesetzt, diese Art der Transformation wird als „Centered Log Ratio (Clr)“ Transformation bezeichnet (AITCHISON, 1986, 2003; VAN DEN BOOGAART et al., 2015). In Abbildung 173 werden die Clr-transformierten Gehalte der Elementpaare Al und K sowie Ce und La dargestellt. In dieser Darstellung

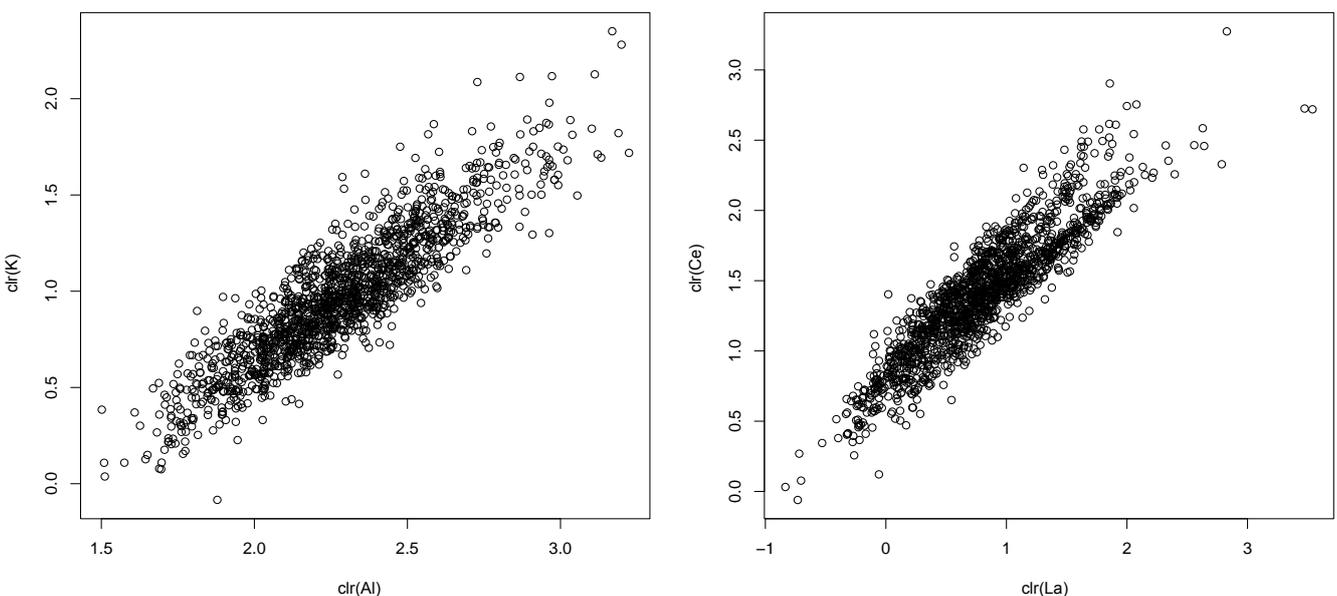


Abb. 173.
Kovarianz der Elementpaare Al/K und La/Ce, Clr-transformierte Werte.

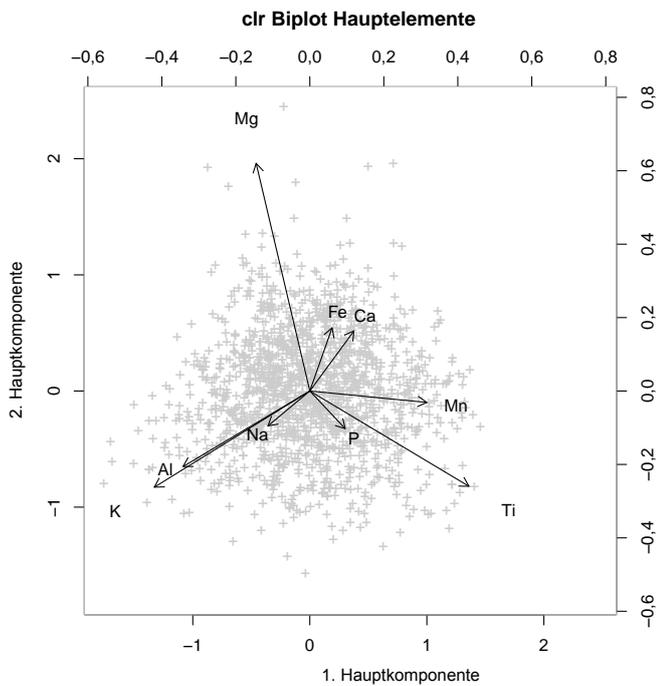


Abb. 174.
Hauptkomponenten 1 und 2, Hauptelemente.

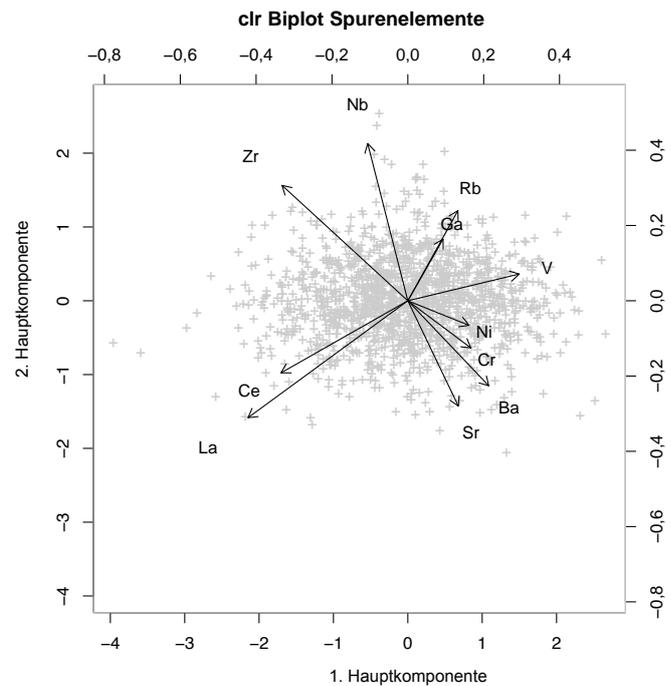


Abb. 175.
Hauptkomponenten 1 und 2, Spurenelemente.

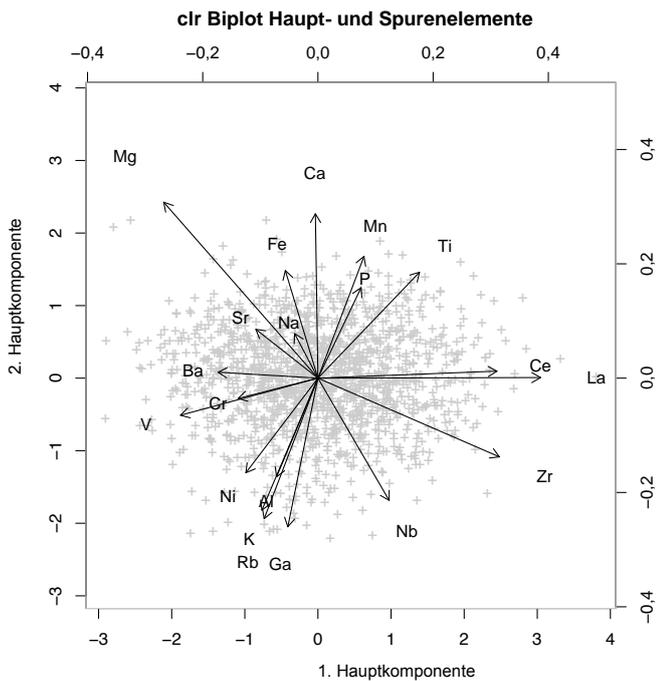


Abb. 176.
Hauptkomponenten 1 und 2, Haupt- und Spurenelemente.

der Elementpaare spiegelt sich die in den Variationsmatrizen ausgewiesenen geringen Varianzen wider; bei dem Elementpaar Ce/La werden im Bereich der höheren Gehalte zwei Probenkollektive sichtbar (DAVIS et al., 1995).

Für die multivariate Betrachtung der Kompositionsdaten wurde die Methode der robusten Hauptkomponentenanalyse entwickelt (FILZMOSEER et al., 2009), die im Statistiksoftwarepaket „R“ (R CORE TEAM, 2015) implementiert wurde (TEMPL et al., 2011). Mit dieser statistischen Methode werden die Analysendaten für die Hauptkomponen-

tenanalyse einer isometrischen Transformation unterzogen (EGOZCUE et al., 2003), die resultierenden Hauptkomponenten können gemeinsam mit den Probenpunkten in einer Biplotdarstellung (PAWLOVSKY-GLAHN et al., 2015) repräsentiert werden. Die Auswertung kann getrennt nach Haupt- und Spurenelementen durchgeführt werden, oder die Haupt- und Spurenelemente einer gemeinsamen Betrachtung unterzogen werden. Die Abbildungen 174 und 175 zeigen jeweils die Hauptkomponenten 1 und 2, getrennt für Hauptelemente und Spurenelemente. In der Abbildung 176 werden die Hauptkomponenten 1 und 2 aus einer gemeinsamen Auswertung der Haupt- und Spurenelemente dargestellt.

Die dargestellten Hauptkomponenten der Hauptelemente werden von den Elementen K, Al, Mg und Ti dominiert. Dies kann als Ausdruck der relativen Häufigkeit von Kalifeldspat und Schichtsilikaten in den Bachsedimenten interpretiert werden, die auf Grund der unterschiedlichen Verwitterungs-, Transport- und Sedimentationsbedingungen verursacht wurden.

In dem Biplot der ersten beiden Hauptkomponenten der Spurenelemente wird besonders der Kontrast der Elemente Ce, La und Zr gegen die anderen Elemente hervorgehoben, der auf die Anreicherung der Schwerminerale Monazit und Zirkon verweist.

Bei der gemeinsamen Auswertung der Haupt- und Spurenelemente (Abb. 176) werden Assoziationen zwischen Haupt- und Spurenelementen sichtbar, z.B. bei K und Rb. Der Kontrast von Ce, La und Zr gegen die anderen Elemente bleibt auch in dieser Darstellung weiterhin sichtbar. Damit wird die Annahme bestätigt, dass die Gehalte an diesen drei Elementen in den Bachsedimenten nicht mit dem Mineralbestand der Ausgangsgesteine, sondern mit Transport- und Sedimentationsprozessen in Zusammenhang stehen.

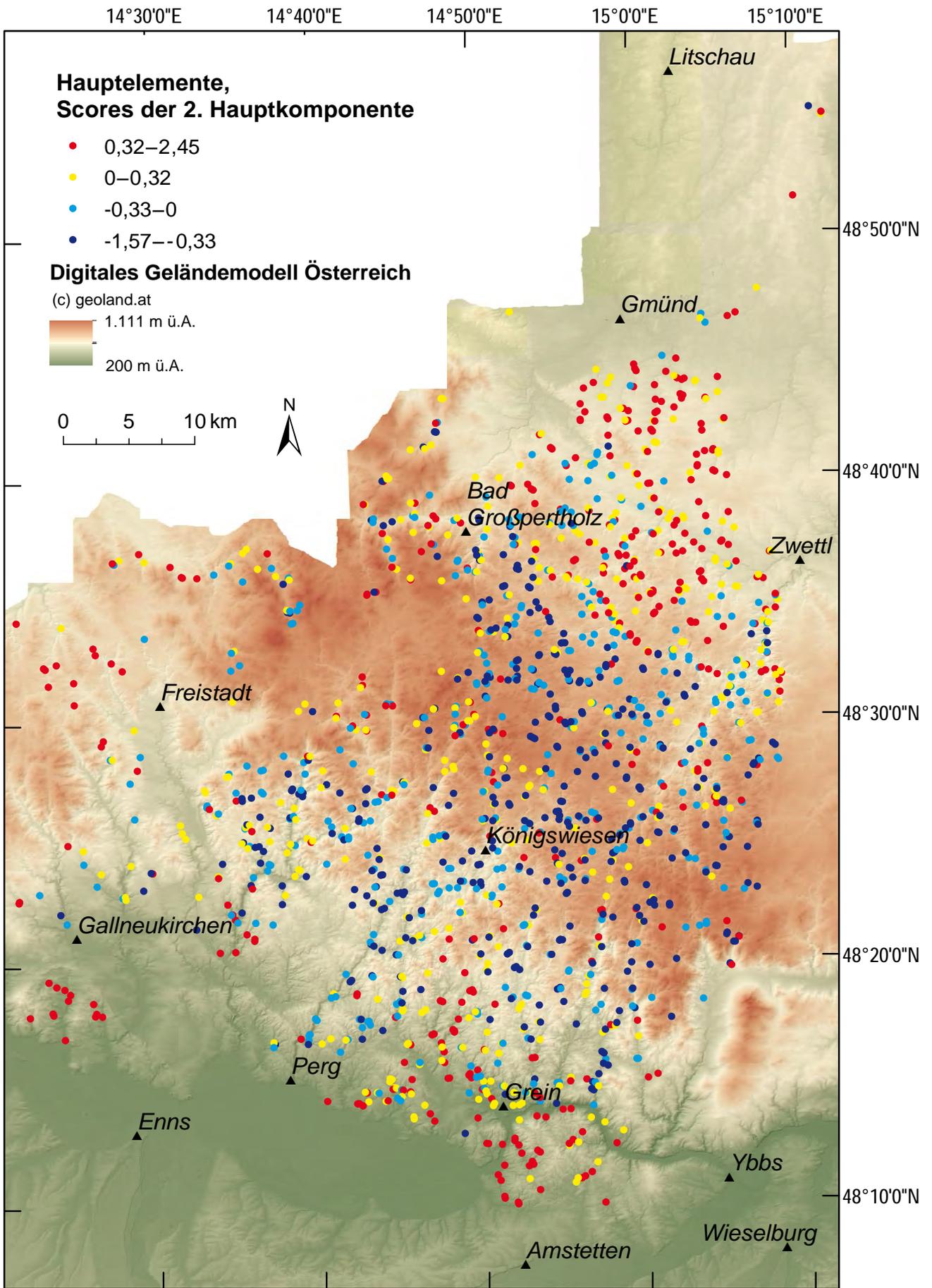


Abb. 177.
Regionale Verteilung der Scores für Hauptkomponente 2 der Hauptelemente; Klasseneinteilung nach Quartilen.

Bei der Darstellung der Scores der Hauptkomponentenanalyse an den Probenahmeorten in Kombination mit einem digitalen Geländehöhenmodell mittels Geographischem Informationssystem kann das Kartenbild im Hinblick auf regionale Verteilungen ausgewertet werden. So zeigen z.B. die Scores der 2. Hauptkomponente eine Gliederung in einen nördlichen, zentralen und südlichen Bereich (Abb. 177) mit dem Auftreten von negativen Scores (geringere Gehalte an Mg) im zentralen Bereich; im Gegensatz dazu stehen die Bereiche mit positiven Werten nördlich und südlich davon. Der Unterschied zwischen den zentralen, höher gelegenen Bereichen in der Kartendarstellung zu den nördlichen (stärkere Verwitterung) und südlichen (stärkere Transportprozesse) Bereichen kann mit unterschiedlichen Gehalten an Biotit und/oder Feldspäten

in den Bachsedimenten, die durch unterschiedliche Verwitterungs-, Transport- und Sedimentationsprozesse in diesen Gebieten verursacht werden, in Zusammenhang gesetzt werden.

Zusammenfassend wurde mit der Auswertung der Bachsedimente im Gebiet des Weinsberger Granits gezeigt, dass mit Hilfe der statistischen Methoden für Kompositionsdaten an Hand der Verhältnisse der Haupt- und Spurenelemente Hinweise für die Genese der Bachsedimente im Hinblick auf An- und Abreicherungsprozesse erkennbar werden. Assoziierte und voneinander unabhängige Elementpaare können in der Variationsmatrix identifiziert werden, die Ergebnisse der multivariaten Auswertungen können im Biplot und im Kartenbild dargestellt und interpretiert werden.

7.3 Erarbeitung von Stoffflussmodellen mit Hilfe geochemischer Daten unterschiedlicher Medien

(HERBERT PIRKL & PIOTR LIPIARSKI)

Geochemische Daten werden in der Regel von Einzelprobenahmen abgeleitet. Wenn man von Mehrfachbeprobungen im Zuge hydrogeologisch-hydrochemischer Untersuchungen absieht, sind kaum systematisch Wiederholungsbeprobungen oder -analysen vorhanden, mit Hilfe derer auf Prozesse oder Veränderungen im Naturraum geschlossen werden könnte. Geochemische Daten besitzen somit eher eine „statische“ Aussagequalität und werden deshalb überwiegend zu Ist-Zustandsbeschreibungen oder zur Ab-

leitung geogener Grundgehalte herangezogen. Aber schon eine sachliche und räumliche Kombination geochemischer Analysen verschiedener Medien – auch unter der Randbedingung, dass nur Einzelbeprobungen vorliegen – ermöglicht doch prinzipielle Aussagen zu Stoffflüssen und Prozessen im Naturraum (Abb. 178). In den letzten Jahren wurden aus geowissenschaftlicher Sicht Studien ausgeführt, die geochemische Methoden auch zur gezielten Stoffflussanalyse einsetzen.

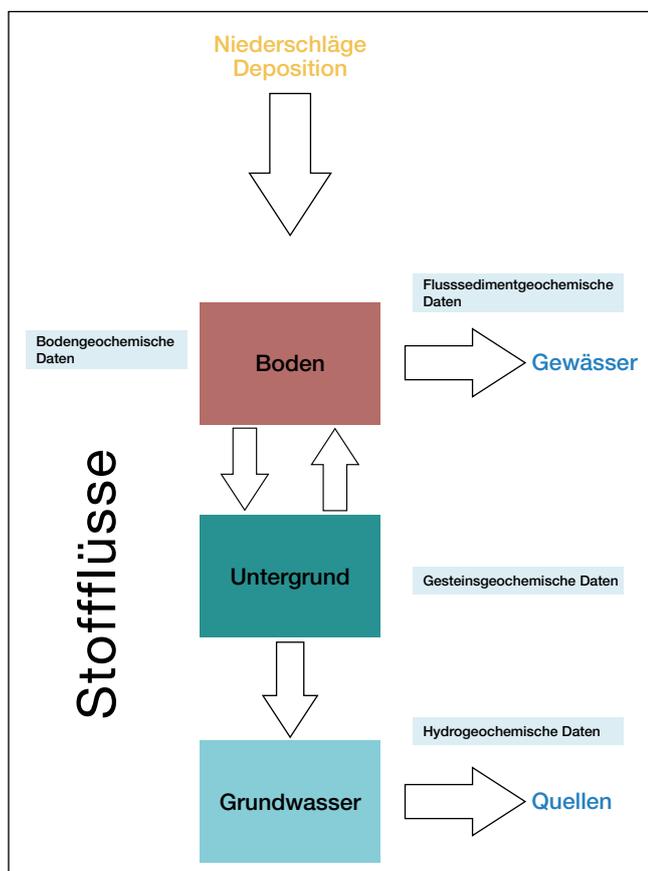


Abb. 178. Zusammenhang zwischen den Hauptstoffflüssen im Geosystem und den Probenmedien als Indikatoren.

In den Jahren 1980 bis 1990 dominierte die „Forschungsinitiative gegen das Waldsterben“ einen größeren Teil der naturwissenschaftlichen Forschung in Österreich. Inhaltlich und methodisch baute dieses Programm auf den umfangreichen Erfahrungen ökosystemarer Forschung in Deutschland auf (z.B. „Sollingprojekt“; ELLENBERG et al., 1986). Einen inhaltlichen Schwerpunkt bildeten darin Stoffflussanalysen in Waldökosystemen auf ausgewählten Depositionsmessflächen. Diese Messflächen waren mit komplexen Messsystemen zur Erfassung des atmosphärischen Niederschlags (Deposition), des Wasserhaushalts innerhalb Vegetation und Boden sowie der entsprechenden qualitativen und quantitativen Stoffflüsse ausgestattet (GLATZEL et al., 1987, 1988). Bei aller Komplexheit reichte das Messdesign in den meisten Fällen jedoch nur bis zur Erfassung des Bodenwassers. Der weitere Austrag von beispielsweise Stickstoffformen oder Schwermetallen in Richtung Untergrund/Grundwasser oder Oberflächengewässer wurde weder qualitativ, noch quantitativ untersucht. Im Rahmen eines Forschungsprojekts „Vorsorgende Bodenschutzplanung Günser Gebirge“ wurde in den 1990er Jahren versucht, diese Lücke etwas zu schließen. Neben der Einrichtung komplex ausgestatteter Depositionsmessflächen wurden in diesem Projekt auch an zahlreichen Messstellen an Quellen, Kleingerinnen und Bächen versucht, den eventuellen Austrag in Grund- und Oberflächenwässern zu erfassen (BLUM et al., 1994; PIRKL, 1995). Da begrenzte Projektmittel leider keine systematische Durchführung hydrochemischer Analysen erlaubten, waren nur indirekte Aussagen zu Austrag in Grund- und Oberflächenwässern mit Hilfe der hydrophysikalischen Messparameter und der Abflussmessungen möglich. Die Ergebnisse solcher Messprogramme können jedoch (auch ohne

dem Vorliegen hydrochemischer Analysen) zur Beschreibung von Zwischenabflussprozessen als Teil der Hochwasserentstehung herangezogen werden.

Ein weiterer Versuch zur Überbrückung obiger Forschungslücke wurde im Rahmen von Wasserhöffigkeitsprojekten gestartet. Das Untersuchungsgebiet betraf

dabei die Kalkalpen im Bereich des Mittellaufes der Ybbs (in Niederösterreich) bis zur Enns (in Oberösterreich). Neben hydrogeologisch-hydrochemischen Kartierungen wurden Mehrfachbeprobungen an ausgewählten Quellen sowie gesteins- und bodengeochemische Untersuchungen ausgeführt (HEINRICH et al., 1995; PFLEIDERER et al., 1999).

Abb. 179. Qualitatives Stoffflussschema in einem Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen, abgeleitet aus der Interpretation gesteins-, boden- und hydrochemischer Analysen.

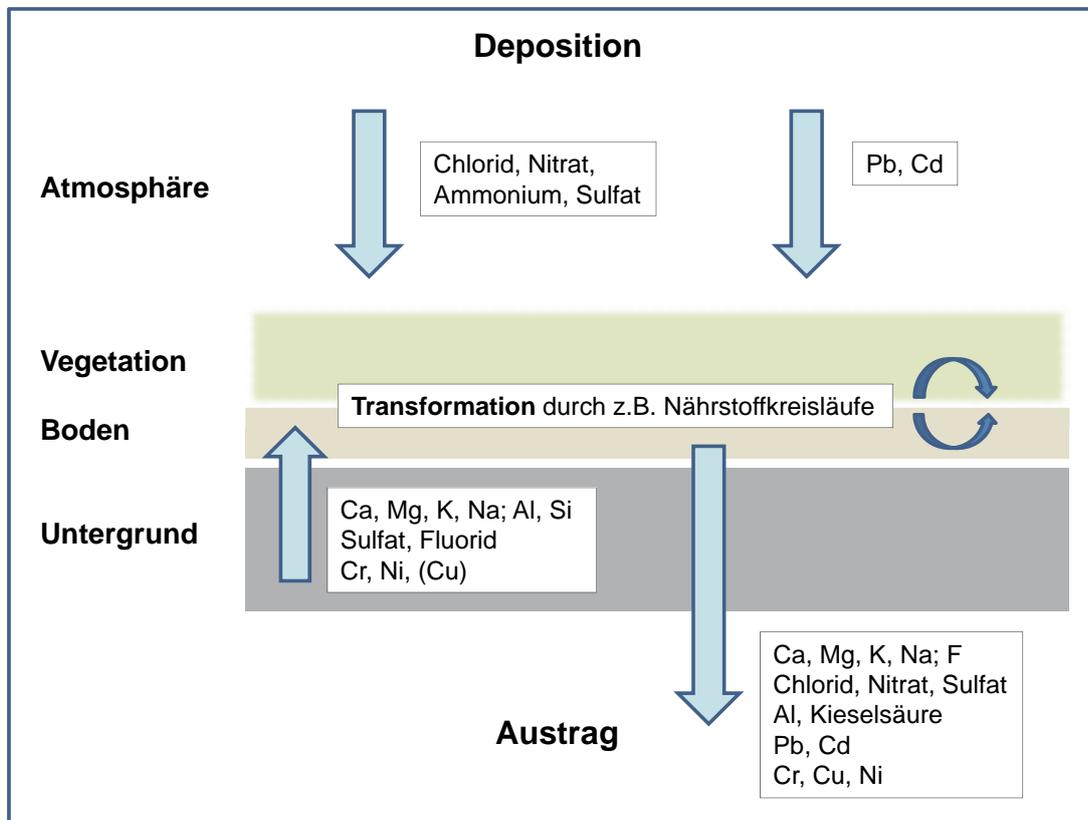
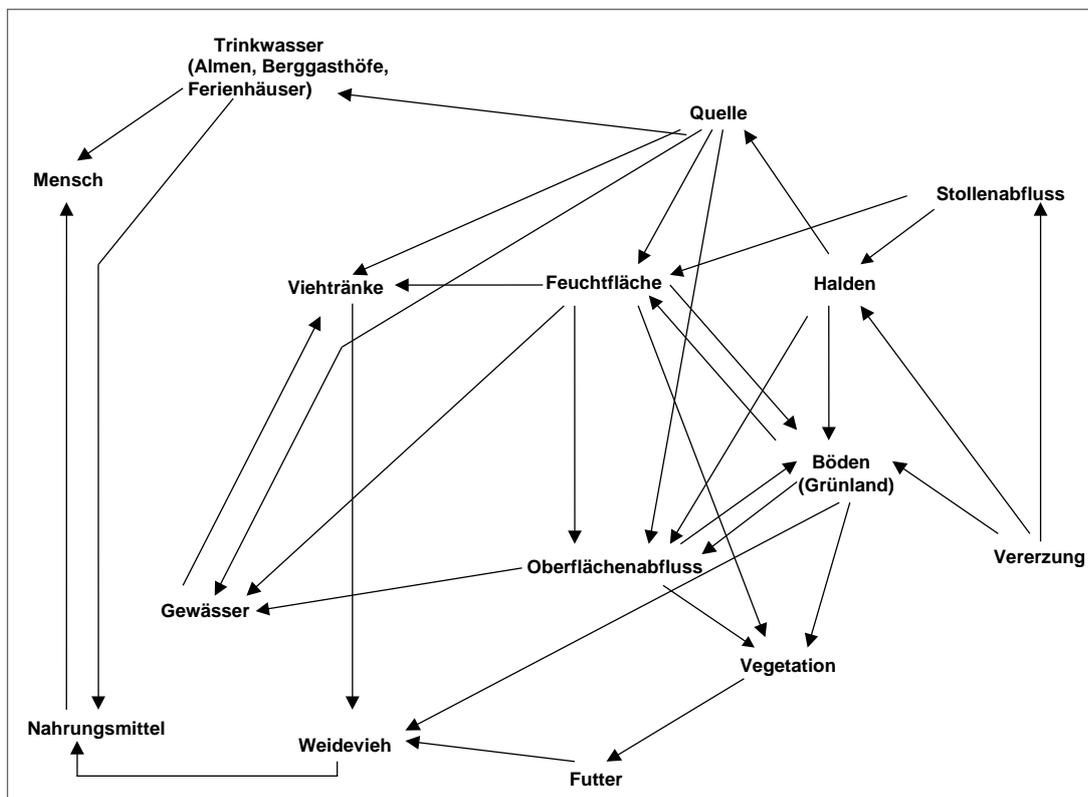


Abb. 180. Altbergbau Brunnalm (Kitzbüheler Alpen); prinzipielles Stoffflussschema für Schwermetalle.



Bodenproben, die teilweise im Jahresabstand zwei- bis dreimal vom selben Standort gewonnen wurden, wurden auch einer fraktionierten Analytik unterzogen (Kornfraktion < 2 mm; Gesamtgehalte/RFA sowie Analytik an Auszügen in Königswasser, EDTA und BaCl₂). Durch Einbeziehung mehrerer Faktoren wie Kleinzugsgebiete, ökologische Standortcharakteristik, Zusammenhänge Böden↔Untergrund und von Zeitreihen in die Interpretation aller Analysendaten konnte ein qualitatives Modell der Hauptstoffflüsse abgeleitet werden (Abb. 179).

Dieses Stoffflussschema bestätigt einerseits die Ergebnisse von Monitoringprogrammen, wie z.B. der Waldboden-Zustandsinventur (FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN, 1992a, b), ergänzt aber auch den fehlenden Systemteil – nämlich die Charakterisierung des Austrages in Untergrund, Grundwässer und Oberflächengewässer. Da im obigen Projekt Mehrfachbeobachtungen an Quellen vorliegen, ist es darüber hinaus möglich, für einzelne Parameter auch Austragsfrachten aus Teileinzugsgebieten mit Hilfe dieser Daten anzuschätzen! Der Austrag einzelner Parameter (z.B. Schwermetalle) ist dabei stark vom Standortfaktor Untergrundlithologie abhängig.

Ein neuer Ansatz zur Bearbeitung von Stofffluss-Situationen ergab sich aus der Charakterisierung und Bewertung von Bergbaufolgelandschaften. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Kulturlandschaft“ wurden dabei mehrere Altbergbauareale in den Kitzbüheler Alpen umfassend mit einem interdisziplinären Forschungsteam untersucht (NEINAVAIIE et al., 2001). Mit Hilfe einer komplexen Probenahme und Analytik (Gesteine, Haldenmaterial, Böden, Wässer) wurden die verschiedenen Quellen und Transferpfade von Schwermetallen im Detail erfasst und charakterisiert. Ein Arbeitsschwerpunkt lag dabei auf dem ehemaligen Bergbaugbiet Brunnalm südlich Kirchberg in Tirol. Das Bergbauareal wird aktuell als Almweide genutzt, wobei alle Haldenkörper für das Weidevieh frei zugänglich sind. Die komplexe Situation im Umfeld des Bergbaus Brunnalm wurde in einem Schema zusammengefasst (Abb. 180), das gleichzeitig die Basis für die Beprobungsplanung darstellte. Aus einer Reihe verfallener Stollenmundlöcher treten Bergwässer aus, die sowohl für die Viehtränke als auch als Trinkwasser genutzt werden. Darüber hinaus ist das Gebiet ein beliebtes Sommer-Ausflugsgbiet. Die intensive landwirtschaftliche Nutzung machte es notwendig, auch Transferpfade in Richtung Lebensmittel (Grünfutter, Milch, Käse) auf ihren Schwermetallgehalt zu prüfen (SCHAFFER et al., 2001).

Die geochemisch-mineralogischen Detailuntersuchungen für das Gebiet des ehemaligen Bergbaus Brunnalm erbrachten mehrere wichtige Aussagen (Tab. 19):

- Das Schwermetallangebot umfasst hauptsächlich die Elemente Silber, Arsen, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Antimon und Zink.
- Die Elemente Arsen und Kupfer werden im Verwitterungskreislauf weitgehend fixiert.
- Die Elemente Quecksilber, Nickel, Antimon und Zink gehen in Lösung und finden sich im Austrag.
- Als stark belastet wurden Böden und Quellwässer angetroffen.
- Lokale landwirtschaftliche Produkte wie Milch und Käse sind nicht belastet (Fleisch oder Pilze wurden nicht untersucht).
- Durch (ungeregelten) Abbau von Haldenmaterial für den Wegebau wird der Einflussbereich des Altbergbaus flächenmäßig unnötig erweitert.

Die EU-Bergbauabfallrichtlinie (2006/21/EG) sieht eine Halden-Bestandsaufnahme und Bewertung potenzieller gesundheitlicher Risiken vor, die von Halden in Altbergbauarealen ausgehen. In Vorbereitung einer nationalen Umsetzung dieser Richtlinie in Österreich hat die Geologische Bundesanstalt in zahlreichen ehemaligen Bergbaugbieten systematische Untersuchungen an Haldenmaterial, Haldenaustragswässern und Stollenwässern begonnen (SCHEDL et al., 2010c, 2011, 2012). Schon jetzt liegen größere Datensätze vor, die eine erste Abschätzung von Risiken und Gefährdungssituationen ermöglichen. Schon die Übersicht über die Konzentrationsverteilungen von Schwermetallen in manchen Umweltmedien zeigt deren enorme Spannweite und zum Teil extremen Gehalte. So finden sich zum Beispiel bei den Elementen Arsen, Blei und Zink in Böden auf Halden oder im Nahbereich von Mineralisationen Konzentrationen bis in den Prozentbereich (Abb. 181).

Vergleichbare Aussagen sind auch an Hand hydrochemischer Analysen aus ehemaligen Bergbaugbieten möglich. Auch hier liegt ein größerer Datensatz aus Untersuchungsprogrammen der Geologischen Bundesanstalt vor, der durch Daten aus Regionalprojekten des Bundeslandes Tirol, die zur Bewertung von Arsen- und/oder Antimonkonzentrationen in Trinkwässern dienen (WIMMER et al.,

Schwermetallquellen	Elemente	bei Verwitterung in Lösung	bei Verwitterung fixiert
Fahlerz	Sb, Cu, As, Hg, Ag, Zn		As-Anreicherung in (Fe-)Hydroxiden Cu-Bindung in Malachit und Azurit
		Sb, Hg, Zn	
Arsenopyrit			As
Gersdorffit	Ni, As	Ni	As
Cinnabarit	Hg	-	-

Tab. 19. Altbergbauareal Brunnalm; Quellen und möglicher Stofffluss von Metallen und Halbmetallen.

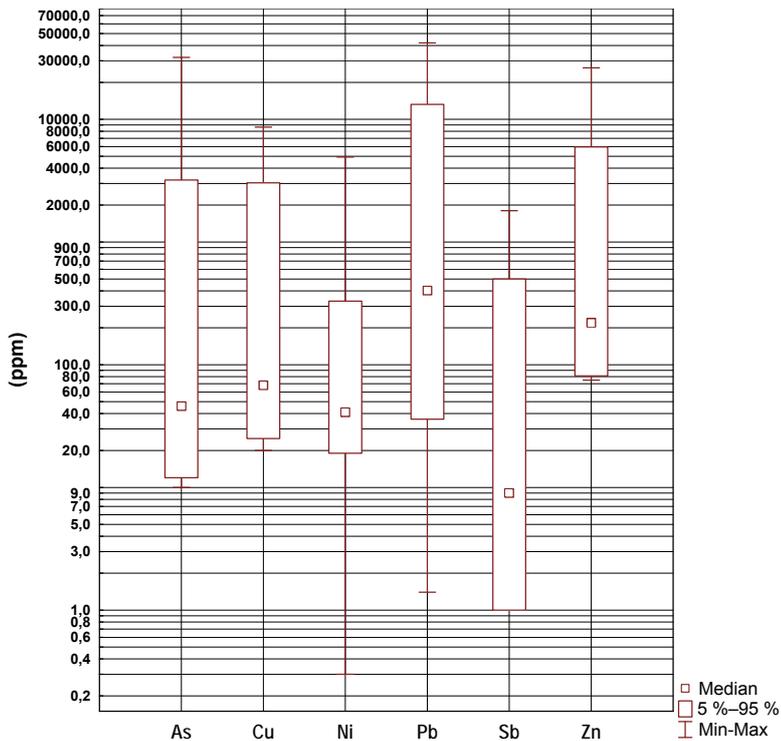


Abb. 181. Böden auf Bergbauhalden oder im Nahbereich von Vererzungen; Konzentrationsverteilungen von Metallen und Halbmetallen.

2001a, b), ergänzt wird. Auch andere Autoren verwiesen zum Beispiel auf lokal oder kleinregional sehr hohe Antimonkonzentrationen an Quellen im Gebiet Schwaz-Brixlegg hin (WOLKERSDORFER, 2008; WOLKERSDORFER & WACKWITZ, 2004).

In Abbildung 182 sind die Konzentrationen für Antimon an Quellen, Kleingerinnen und Stollenwässern im Bereich ehemaliger Bergbaue grafisch aufbereitet. Bei circa 40 % der Analysen liegen die Antimonkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze (< 0,1 µg/l). Demgegenüber liegt aber bei fast 40 % der analysierten Proben die Antimon-

konzentration über dem Trinkwassergrenzwert von 5 µg/l, davon etwa in 10 % der Daten bei > 500 µg/l!! Sowohl diese weite Verbreitung von Antimonausstrag, als auch die analysierten Extremwerte waren bis vor kurzer Zeit aus Österreich nicht bekannt.

Vergleichbares gilt auch für die Situation des Bleiausstrages über Quellen und Stollenwässer in Altbergbauarealen (Abb. 183). Bei der Datenauswertung für dieses Element fallen zwei Aspekte besonders auf:

- a. Auch bei Mineralisationen, in denen Bleiminerale nur untergeordnet vorkommen, können Bleiausträge in re-

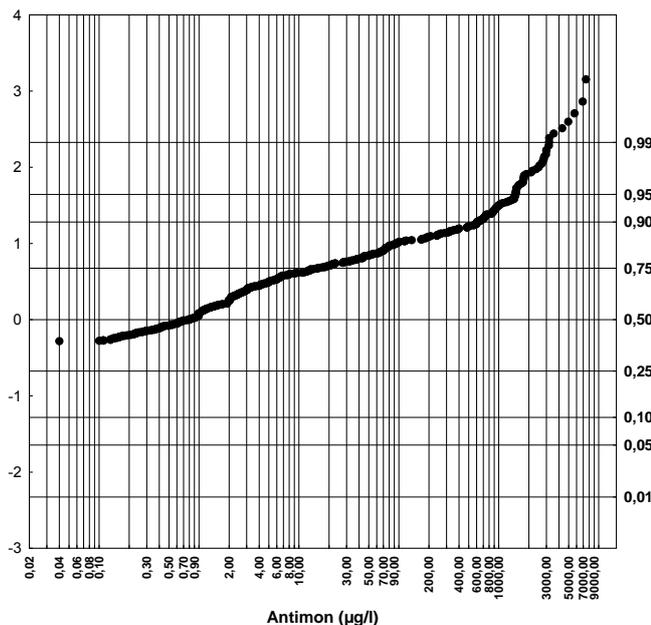


Abb. 182. Quell- und Stollenwässer im Bereich von Altbergbauen; Verteilung der Antimonkonzentrationen.

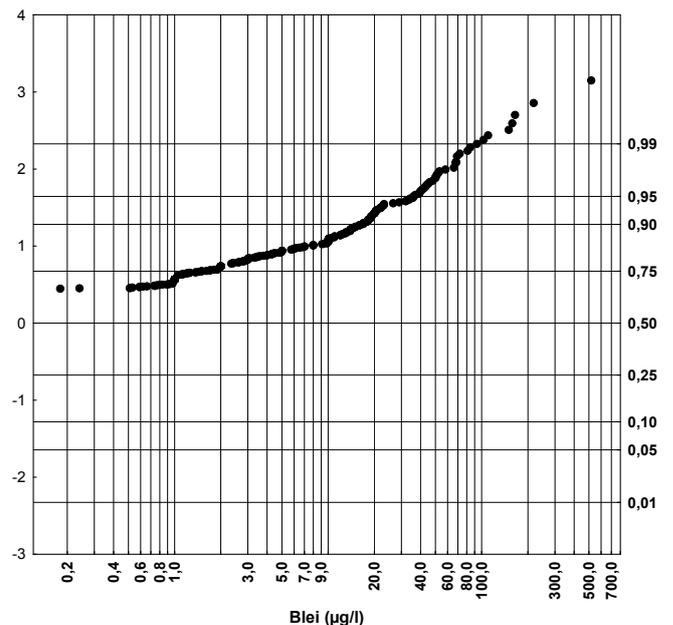


Abb. 183. Quell- und Stollenwässer im Bereich von Altbergbauen; Verteilung der Bleikonzentrationen.

Element	Hinweiskriterium Konzentration in Wasser	Altbergbauareale mit Austragsrisiko (aktueller Nachweis über hydrochemische Analysen an Stollenwässern, Quellen oder Kleingerinnen)
As	> bis >> 10 µg/l	Schlaining, Gasen, Nassfeld/Sportgastein, Siglitz, Brennthal, Grüntal/Wieseneegg, Falkenstein, Lienzer Schlossberg, Tessenberg.
Cd	> bis >> 5 µg/l	Schlaining, Rabenstein, Walchen, Kupferplatte, St. Christof, Brennthal, Fragant, Tessenberg, Sillian/Panzendorf, Bleiberg.
Ni	> bis >> 20 µg/l	Schlaining, Walchen, Untersulzbachtal, Kupferplatte, Brunnalm, Schattberg, Silberberg, Hüttenberg, Fragant, Tessenberg.
Pb	> bis >> 9 µg/l	Schlaining, Rabenstein, Walchen, Eschach-Duisitz, Rettenbach/Mittersill, Achsel-/Flecktrogal, Gamskogel/Habach, Rohr, Schweinest, St. Christof, Bleiberg.
Sb	> bis >> 5 µg/l	Schlaining, Gasen, Duisitz, Röhrerbühel, Gratspitz, Silberberg, Großkogel, Kleinkogel, Ringenwechsel, Falkenstein, Alte Zeche, Rotenstein/Serfaus, Nörsach.
Zn	> bis >> 55 µg/l	Schlaining, Walchen, Rabenstein, Großstübing, Rettenbach/Mittersill, Achsel-/Flecktrogal, Gamskogel/Habach, Grüntal/Wieseneegg, Kupferplatte, Brunnalm, Schweinest, Röhrerbühel, Siberberg, Alte Zeche, Zapfenschuh, Dirstentritt, Feigenstein, St. Christof, Bleiberg, Fragant, Tessenberg.

Tab. 20.
Schwermetall-Austragsrisiken in Wässern ausgewählter Altbergbaugebiete.

lativ hohen Konzentrationen (> 9 µg/l) beobachtet werden – z.B. in den Altbergbauarealen Tessenberg, Rettenbach/Mittersill, Brenntal, Kupferplatte u.a.

- b. Auch – und besonders – bei Blei-Zink-Mineralisationen in karbonatischem Umfeld ist Bleiaustrag in Quellen und Bächen in hohen Konzentrationen (bis zu >> 100 µg/l) verbreitet nachzuweisen, trotz der neutralen oder leicht basischen pH-Werte dieser Wässer (z.B. im Bereich der Villacher Alpe/Drauzug).

Gerade die räumliche Verteilung und die unterschiedlichen Quellen für die nachgewiesenen und potenziellen Austräge von Blei weisen darauf hin, dass hier noch ein entsprechender Forschungsbedarf besteht.

Wenn aus diesem Gesichtspunkt heraus der Gesamtdatensatz vorhandener hydrochemischer Analysen aus Altbergbauarealen hinsichtlich der Spurenelementkonzentrationen ausgewertet und diskutiert wird, ist festzustellen, dass in einer ganzen Reihe von ehemaligen Bergbauen Spurenelementausträge mit zum Teil sehr hohen Konzentrationen erwartet werden müssen. Auch diese Tatsache ist nach ihrer weiten räumlichen Verbreitung eine relativ neue Erkenntnis. In Tabelle 20 sind diese spezifischen Austragsrisiken nach Bergbauen aufgelistet. Die jeweiligen Hinweiskriterien lehnen sich dabei an die Trinkwasser- und/oder die Grundwasserschwelienwertverordnung an.

An Hand der Tabelle 20 sind auch weitere Erkenntnisse ableitbar, dass einerseits in manchen Bergbautypen sehr

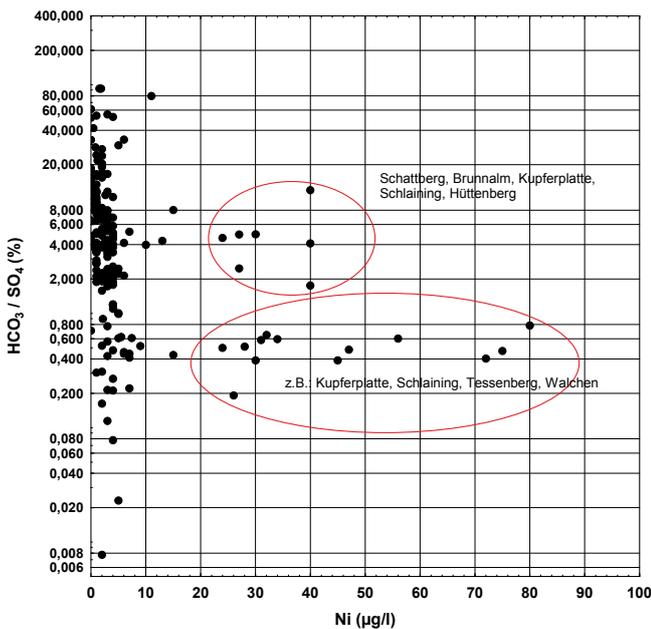


Abb. 184.
Hydrochemische Analysen aus Altbergbauarealen; Zusammenhang zwischen Nickelkonzentrationen und dem Verhältnis $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$ %.

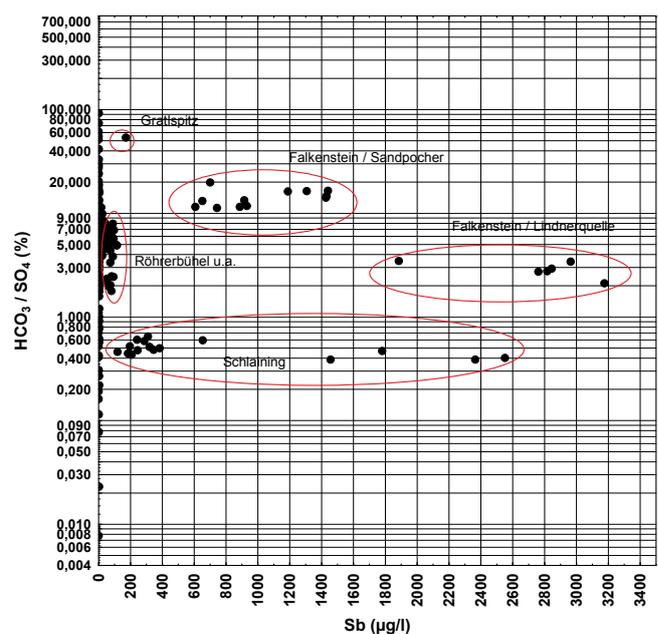


Abb. 185.
Hydrochemische Analysen aus Altbergbauarealen; Zusammenhang zwischen Antimonkonzentrationen und dem Verhältnis $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$ %.

komplexe Austragsituationen zu erwarten sind, und andererseits im selben Revier unterschiedliche Prozesse zum Austrag beitragen können.

Letztere Erkenntnis lässt sich sehr deutlich an den Zusammenhängen zwischen Spurenelementkonzentrationen auf der einen Seite und dem Verhältnis von HCO_3^- -Ionenäquivalent % zu SO_4^{2-} -Ionenäquivalent % auf der anderen Seite darstellen (Abb. 184, 185). In diesen Grafiken lassen sich ganz klare Datengruppen abgrenzen, die mit Bergbauarealen korreliert sind. Im Falle des Verhältnisses $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-} < 1$ bildet die Sulfidverwitterung die hauptsächliche Quelle des Metallaustrages. Bei Verhältnissen $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-} > 1$ dominiert HCO_3^- den Wassertyp; in diesem Fall führt der Lösungsweg wahrscheinlich über sekundäre Mineralbildungen. Wie die beiden Grafiken zeigen, können auch beide Austragsprozesse innerhalb eines Bergbauareals gleichzeitig angetroffen werden.

Diese neuen Erkenntnisse sollten sowohl fachliche, als auch verwaltungstechnische Konsequenzen haben. Wie der Datensatz des Bergbau-/Haldenkatasters an der Geo-

logischen Bundesanstalt belegt, ist Altbergbau in Österreich kein lokales, vernachlässigbares Phänomen, sondern flächenmäßig weit verbreitet. Bei den zahlreichen Begehungen ehemaliger Bergbaugebiete mussten eine Reihe offener Probleme festgestellt werden, die rasches Handeln erfordern:

Viele Stollenwässer oder Halden-Sickerwässer werden für Einzel- oder Gruppenwasserversorgungen genutzt. Und dies, ohne sich der Problematik (potenziell) hoher Metallkonzentrationen in diesen Wässern bewusst zu sein.

Altbergbau-Haldenflächen wurden/werden als Baugrund gewidmet und auch als solche genutzt. Spielflächen für Kinder oder private Gemüsegärten sind so auf Haldenflächen situiert, ohne sich der Problematik hoher Metallkonzentrationen in Böden bewusst zu sein.

Haldenmaterial wird für Sportflächen- und/oder Wegebau abgebaut und im weiteren Umfeld von ehemaligen Bergbauen ausgebracht, ohne das Material auf den Metallgehalt zu untersuchen. Damit werden potenzielle Risikoflächen unnötig vergrößert.

Bergbauareal	Spurenelement-Potenzial nach RFA-Analytik Haldenmaterial oder Böden (*)	Mobilisierbarkeit hoch nach EDTA-Auszug für: (keine Aussagen zu Sb)	Spurenelement-Austrag Wässer (Quellen, Brunnen, Bäche)	Spurenelement-Austrag Bachsedimente < 2 mm
Walchen	Ag, As, Cu, Hg, Pb, Sb, Zn	As, Cu, Pb, Zn	Cd, Cu, Pb, Zn	(As), Cu, Pb, Zn
Schlaining	As, (Hg), Sb	As, (Co, Cu, Ni)	As, Ni, Sb, (U), (Zn)	
Gasen	As, (Pb), Sb	As, (Cr), Cu, (Ni), Pb	As, Sb	
Rabenstein	Cd, Hg, Pb, Zn	(As), Cd, (Co, Ni), Pb, Zn	Cd, Pb, Zn	
Friesach/Gaisberg	(Cd), Pb, Zn		As, (Sb), (Zn)	
Hüttenberg	(As), Cr, Ni, (Zn)		Ni	
Röhrerbühel	As, Co, Cr, Cu, (Ni), Sb		Ba, Cu, Sb, (U)	
Tessenberg	As, Cu, Pb, Zn		(Cd), (Cu), Ni, Zn	
Seekar	(Ag), As, Cu, Hg, Sb		(Ni, Mo, U, Zn)	
Eschach-Duisitz	Ag, As, Cu, Hg, Pb, Sb, (V), (Zn)		Ni, Pb, (Sb), (V)	
Schwaz	Ag, As, (Cd), Cu, Hg, Sb, (Zn)		As, Cu, Sb, U, (Zn)	
Bleiberg	(As), Ba, Cd, Hg, Mo, Pb, Zn	(Ba), Cd, Pb, Zn	Cd, Mo, Pb, Zn; Fluorid	Weissenbach: Ba, Cd, Pb, Zn Nötschbach: Ag, As, Cu, Sb
Mitterberg	-		(Al), Ni, (U), (Zn)	
Siglit/Nassfeld	Ag, As, (Cu), Hg, Pb, (Zn)		As, (Ni), Pb, (U)	
St. Christof	Ag, Cd, (Cu), Hg, Pb, Sb, Zn		(Al), (Ni), (Co), Pb, Zn	
Nassereith			(Cu), Zn, Mo, U	
Dirstentritt	Ag, As, Cd, Mo, Pb, (Sb), Zn		(Mo), Pb, Zn, (U)	
Biberwier			(Mo), Pb, U	
Zillingdorf	As		(Co), (Ni), U	
Amstall			Al, (Ni), (U), V	
Tebrin	(Pb)		Ba, (Al, As, Cu, Ni, Pb)	
Magnesit Eichberg			U	
Nöckelberg	As, Co, Cu, Ni, (Pb), Sb, Zn		(As), (Cu), Ni	
Schwarzleo	As, Co, Cu, Hg, Ni, (Pb), Zn		(Cu), (Ni), Zn	

Tab. 21.

Aktueller Wissensstand über Elementangebote, Mobilisierbarkeit, Lösungsverhalten und Austragspotenzial an untersuchten Altbergbauarealen.

(*) schwarz: Analytik mittels Labor-RFA; blau: Analytik mittels Gelände-RFA; rot: Analytik aus Vorprojekten; Elemente in Klammer sind mit geringeren Konzentrationen indiziert.

Für zahlreiche problematische Situationen liegt noch kein ausreichendes Datenmaterial für eine Risiko-Abschätzung vor.

Tabelle 21 fasst den aktuellen Wissensstand über Angebot, Mobilisierbarkeit, Löslichkeitsverhalten und spezifischen Austragsituationen bei untersuchten Altbergbauarealen zusammen.

In einem weiteren Beispiel erlaubten regionale Stoffflussüberlegungen an Hand geochemischer Daten die Auswirkungen einer Industrieanlage auf Transferpfade in mehreren Umweltmedien nachzuweisen. Gleichzeitig war es auch möglich, Verteilungen geogener Grundgehalte von den technogen bedingten zu unterscheiden. Ausgangspunkt der entsprechenden Studien war das Problem hoher Chromkonzentrationen in einem ausgedehnten Grundwasserkörper im Krappfeld/Kärnten. Auf Grund mehrfacher Trinkwassergrenzwertüberschreitungen konnte eine Brunnenanlage für die regionale Wasserversorgung nicht in Produktion gehen. Ein umfangreiches Bodengeochemieprogramm sollte die Abklärung der Belastungsquelle unterstützen. Gleichzeitig wurde damit auch ein Teil der Bodenzustandsinventur des Bundeslandes Kärnten abgearbeitet und ein Methodenvergleich zwischen pedologischen und geochemischen Arbeitsweisen angestrebt. Um den tatsächlichen Nachweis der Chromquelle sowie des jeweiligen Transfers führen zu können, reichten die bodengeochemischen Untersuchungen alleine nicht aus. Probenahmen und Analytik wurden deshalb auch auf

Flusssedimente und Quellwässer ausgeweitet sowie eine mikrochemisch-mineralogische Phasenanalytik an Boden-, Flusssediment- und Staubproben durchgeführt. Mit dieser Methodenkombination (Abb. 186) gelang es, den entsprechenden Nachweis zu führen (PIRKL, 1993).

Abbildung 187 visualisiert die aus den Datenauswertungen und der Datenverknüpfung abgeleiteten Chrom-Emissionen und -Transferpfade in synoptischer Form:

- Die technogene Hauptquelle von Chrom stellt das Betriebsgelände des Sondermetall- und Metallrecycling-Betriebes in Treibach dar. Von dort erfolgt Austrag in den Hauptvorfluter Gurk und der weitere Transfer mit der fließenden Welle und dem Sediment der Gurk – mit Auswirkungen bis zur Einmündung in die Drau (dunkelblaue Pfeile).
- Staubemissionen von diesem Betriebsstandort aus erfolgen praktisch in alle Himmelsrichtungen (orange Pfeile). In der lokalen Hauptwindrichtung (etwa Nord-Süd) sind Flugstäube aus diesem Betriebsstandort bis zum Längsee nachzuweisen.
- Auf Grund der Kommunikation zwischen Oberflächengewässer (Gurk) und dem Grundwasserkörper in pleistozänen Terrassensedimenten östlich Mölbling erfolgt Chrom-Transfer hier auch in und mit dem Grundwasserstrom (hellblauer Pfeil). In diesem Grundwasserkörper liegt die Brunnenanlage mit dem Chrom-Problem.

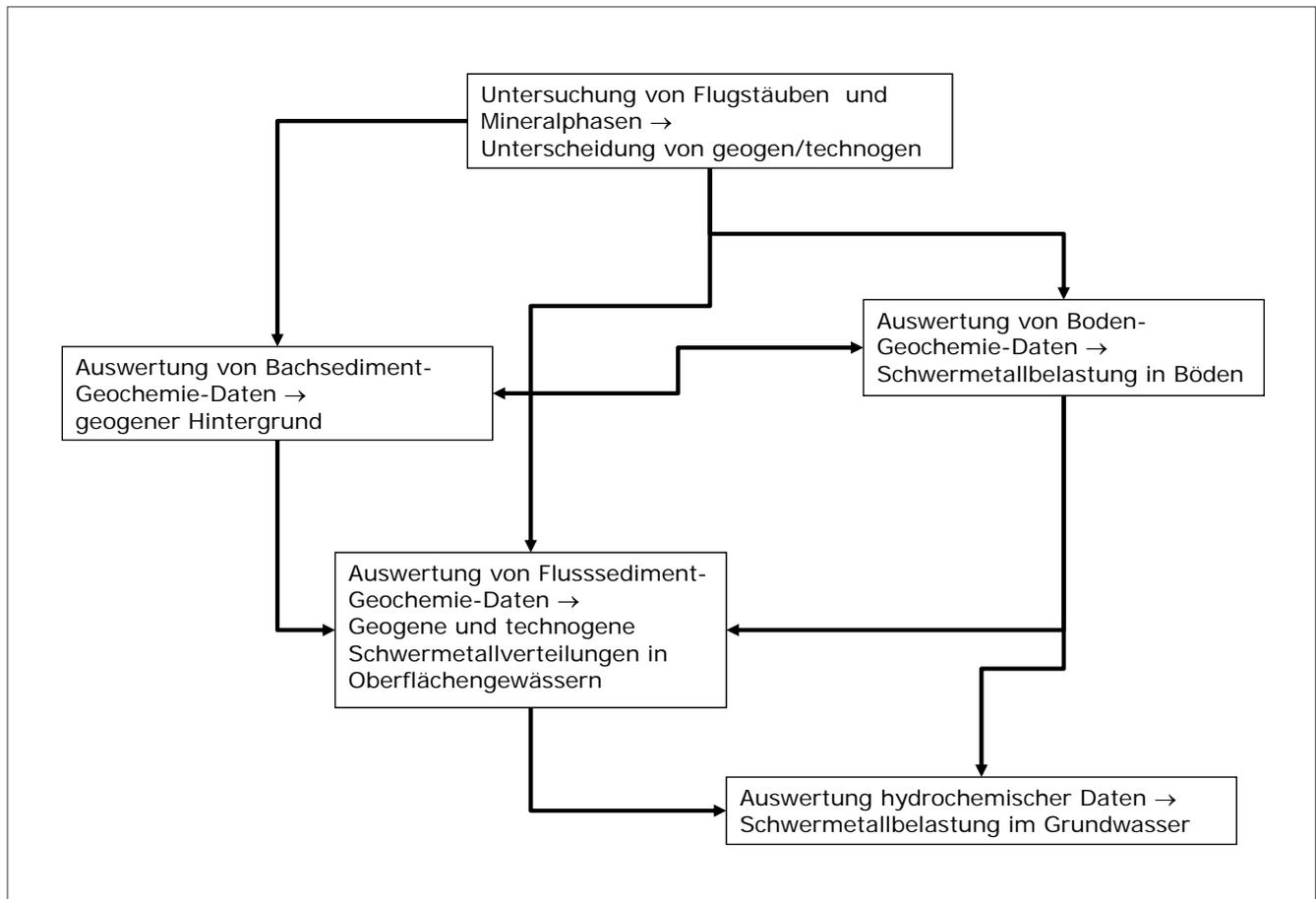


Abb. 186. Methodenkombination und -verknüpfung zur Abklärung von Belastungssituationen im Krappfeld/Kärnten.

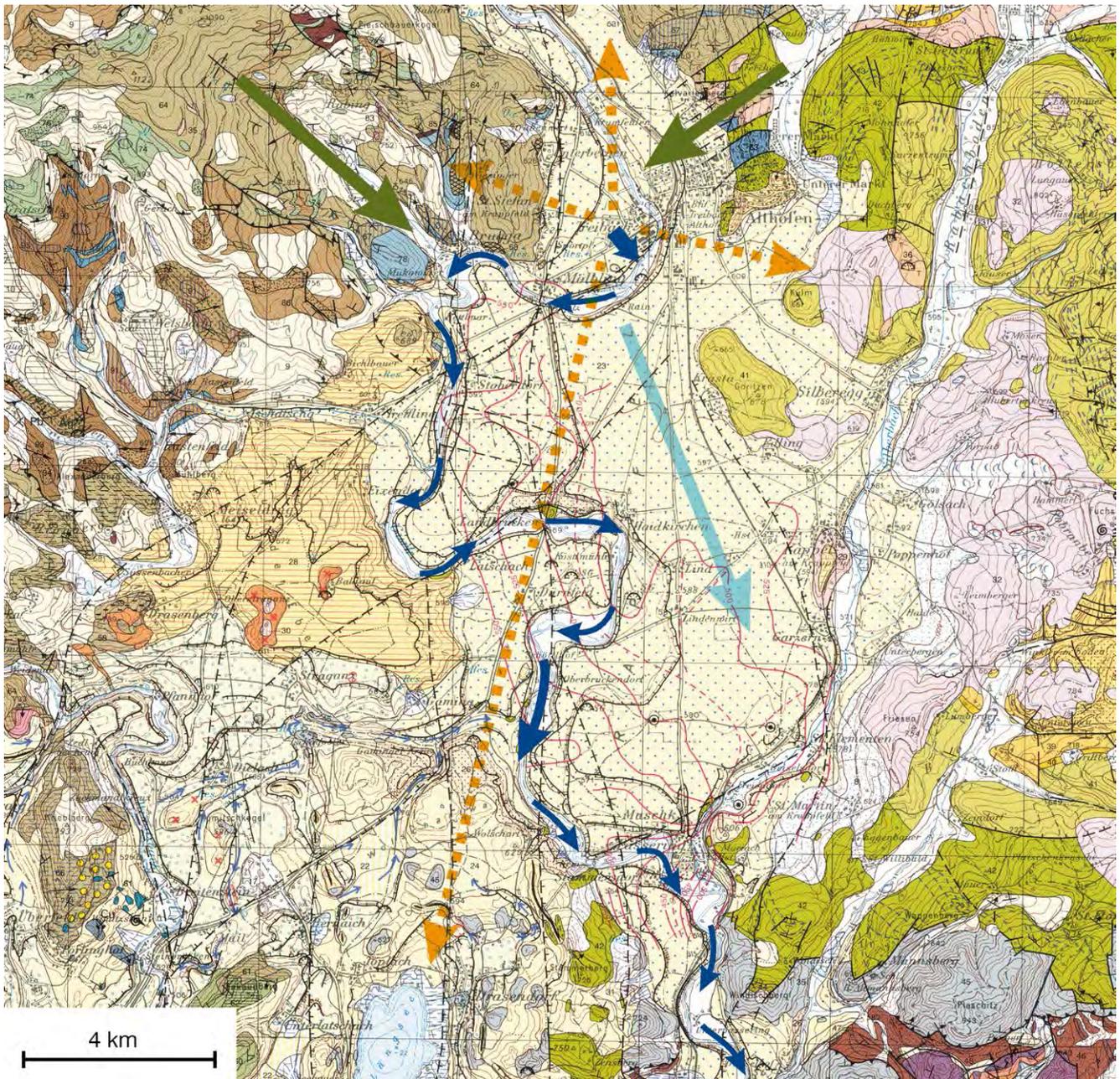


Abb. 187. Emissions- und Transferpfade von Chrom im Bereich Treibach-Althofen/Krappfeld (Basiskarte: GK50 Blatt 186 St. Veit an der Glan – THIEDIG et al., 1999).

- In den Hangbereichen westlich und nordöstlich Treibach-Althofen überlagern die Chrom-Immissionen aus dem Betriebsstandort Treibach auch gegen bedingte, höhere Chromkonzentrationen in den entsprechenden Böden. Aus diesen erfolgt über Erosionsabtrag und Hangwässer ebenfalls Chromtransfer in Richtung Gurk-Vorflut (oliv-braune Pfeile).
- Die oben zitierte Studie gibt die Umweltsituation von 1993 wider. In der Zwischenzeit ist die Problemsituation weitgehend saniert.

7.4 Vergleiche regionaler Element-Verteilungsmuster an Böden und Bachsedimenten

(HERBERT PIRKL)

Die Bach- und Flusssedimentgeochemie ist ein Teil der geochemischen Kartierung des Bundesgebiets, freilich ein sehr wichtiger, da damit eine Flächendeckung bei gleicher Methodik erreicht wurde. Insgesamt stehen aber für die geochemische Charakterisierung sehr viel mehr Daten zur Verfügung. Diese Daten betreffen dabei nicht nur Bach- und Flusssedimente, sondern auch Gesteine, Böden, (Bergbau-)Haldenmaterial sowie Analysen von Quellen, Grund- und Oberflächenwässern. Alle diese Analysen sind zumindest hinsichtlich ihrer Metadaten in einer entsprechenden Datenbank erfasst. Aktuell sind dies Informationen von 231 Datensätzen mit mehr als 77.200 erfassten Analysenserien. Diese geochemischen Informationen stammen einerseits aus systematischen Programmen wie der Bachsedimentgeochemie, andererseits aus Spezialarbeiten wie Methodenentwicklung, Rohstoffprospektion, Rohstoffpotenzial- und Wasserhöflichkeitsprojekten sowie umweltgeochemischen Studien. Diese Metadatendokumentation steht der Öffentlichkeit über die Website der Geologischen Bundesanstalt zur Verfügung.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Umweltgeochemie Kärnten“ (SCHEDL et al., 2008) wurden die vorhandenen

geochemischen Analysen beispielhaft nicht nur hinsichtlich ihrer Metadaten erfasst, sondern weitgehend auch in Interpretationsansätze einbezogen (Tab. 22). Alle diese Daten wurden darüber hinaus für ein GIS-gestütztes, Kärntner Bodeninformationssystem aufbereitet.

Auf der regionalen Ebene lassen sich diese geochemischen Informationen untereinander verknüpfen, um z.B. geogene Hintergrundverteilungen zu beschreiben. Ein weiterer, wichtiger Anwendungsbereich ist die Unterstützung der Auswertung und Interpretation regionaler oder überregionaler Monitoringprojekte, wie der Bodenzustandsinventur, der Wassergütererhebung (nach WGEV, 1991) oder der Gewässerzustandsüberwachung (nach GZÜV, 2006).

Wie aus Abbildung 188 hervorgeht, ist die Informationsbeschaffung in Monitoringprogrammen, wie z.B. der Wassergütererhebung, aus ökonomischen Gründen nur an wenigen Messstellen möglich. Diesem weitmaschigen Monitoring-Messnetz kann die hohe Informationsdichte vorhandener geochemischer Daten gegenübergestellt werden (siehe WGEV-Oberflächengewässer-Messstellen als violette Symbole in Abbildung 188).

Geowissenschaftliche Datensätze	Räumliche Lage	Interpretations- und Verknüpfungsmöglichkeiten
Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion 180 µm (Geochemischer Atlas), Vollaufschluss / Multielementanalytik	Zentralalpen-Kristallin	Ableitung geogen bedingter Hintergrundwerte; Charakterisierung Sedimentmatrix; Spurenelementverteilungen in Abhängigkeit von Lithologie und ehemaligen Bergbauen.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion 180 µm, Vollaufschluss / Multielementanalytik	Gailtaler Alpen, Karnische Alpen, Karawanken und Hauptflüsse	Ableitung geogen bedingter Hintergrundwerte; Charakterisierung Sedimentmatrix; Spurenelementverteilungen in Abhängigkeit von Lithologie und ehemaligen Bergbauen.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion 40 µm, Vollaufschluss / Multielementanalytik	Gailtaler Alpen, Karnische Alpen, Karawanken und Hauptflüsse	Ableitung geogen bedingter Hintergrundwerte; Charakterisierung Sedimentmatrix; Spurenelementverteilungen in Abhängigkeit von Lithologie und ehemaligen Bergbauen; zusätzlich Interpretationsbasis für Fluss-Sedimentanalytik nach WGEV.
Bach- und Flusssedimentgeochemie Kornfraktion 180 µm, KW-Aufschluss / ausgewählte Spurenelemente	In spezifischen Rohstoffprospektionsgebieten (in Teilen der Gailtaler Alpen, der Karawanken und des Zentralalpenkristallins)	Schwermetallverteilungen in ehemaligen Bergbaugebieten und/oder Erzrohstoff-Hoffungsgebieten.
Flusssedimentgeochemie Kornfraktion 20 µm, KW-Aufschluss / ausgewählte Spurenelemente	ausgewählte Punkte im Hauptflusssystem	Aussagen über Schwermetallverteilungen im Feinsediment der größeren Flüsse.
Flusssedimente / fraktionierte Analytik	Probepunkte an Gurk und einigen Nebenflüssen im Bereich Krappfeld	Verfügbarkeit und Mobilisierbarkeit von Spurenelementen (insbesondere Schwermetallen) aus Sedimenten der Gurk.
Bodengeochemie, KW-Aufschluss / ausgewählte Spurenelemente	In spezifischen Rohstoffprospektionsgebieten (in Teilen der Gailtaler Alpen, der Karawanken und des Zentralalpenkristallins)	Schwermetallverteilungen im Bereich ehemaliger Bergbaugebiete und/oder Erzrohstoff-Hoffungsgebieten.
Bodengeochemie, verschiedene Analytik-Ansätze (Vollaufschluss-Multielementanalytik, Analytik nach BZI, fraktionierte Analytik)	Krappfeld und Umgebung; östliche Karawanken	Analysenmethodik-Vergleiche; Spurenelementverteilungen in Abhängigkeit von Geologie und anthropogenem Eintrag.
Mineralogisch-mikrochemische Phasenanalysen	an ausgewählten Probepunkten (Flusssedimente, Haldenproben, Böden, Flugstäube)	Bestimmung und Beschreibung von Schwermetallquellen (geogen, anthropogen).

Tab. 22. Geochemische Datensätze (ohne Hydrochemie) für das Bundesland Kärnten.

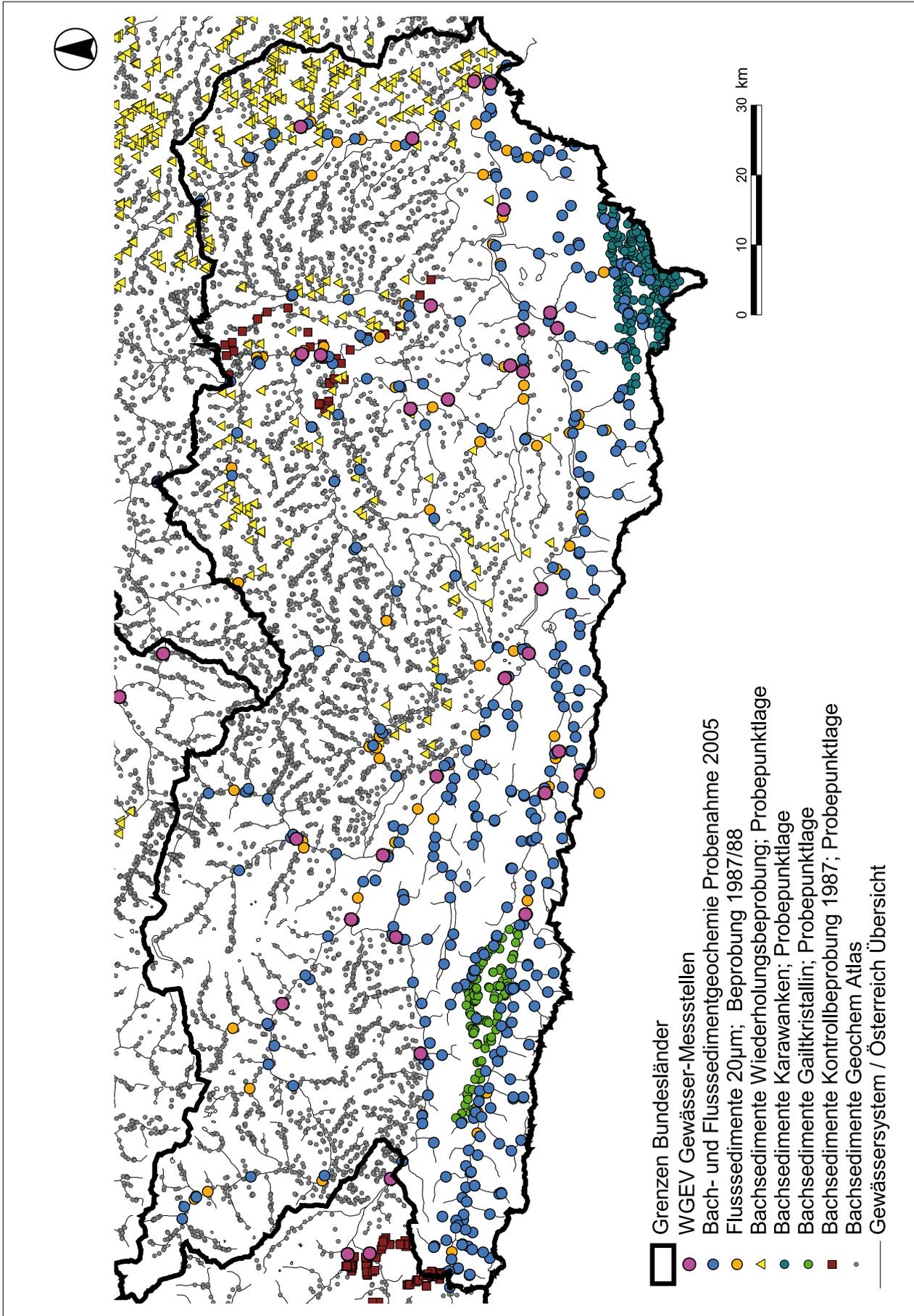


Abb. 188. Bundesland Kärnten, vorhandene Daten für Bach- und Flusssedimente; Lageverteilung nach diversen Forschungsprojekten.

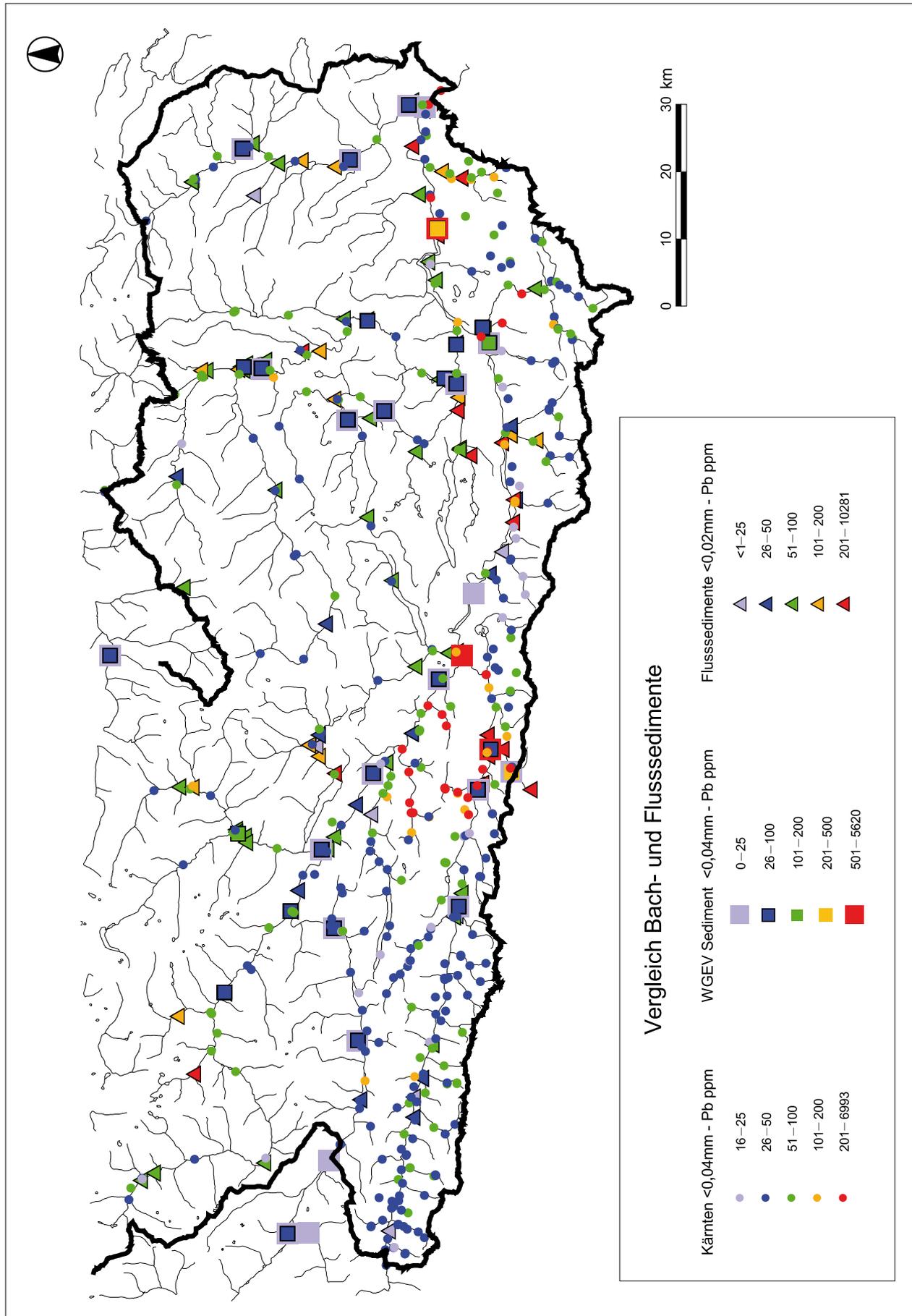


Abb. 189. Bundesland Kärnten; Bach- und Flusssedimente / Blei-Konzentration. Kreissymbole: Bachsedimente/Probenahme 2005; Quadratsymbole: Flusssedimente nach WGEV (1991); Dreiecksymbole: Bach- und Flusssedimente 1987.

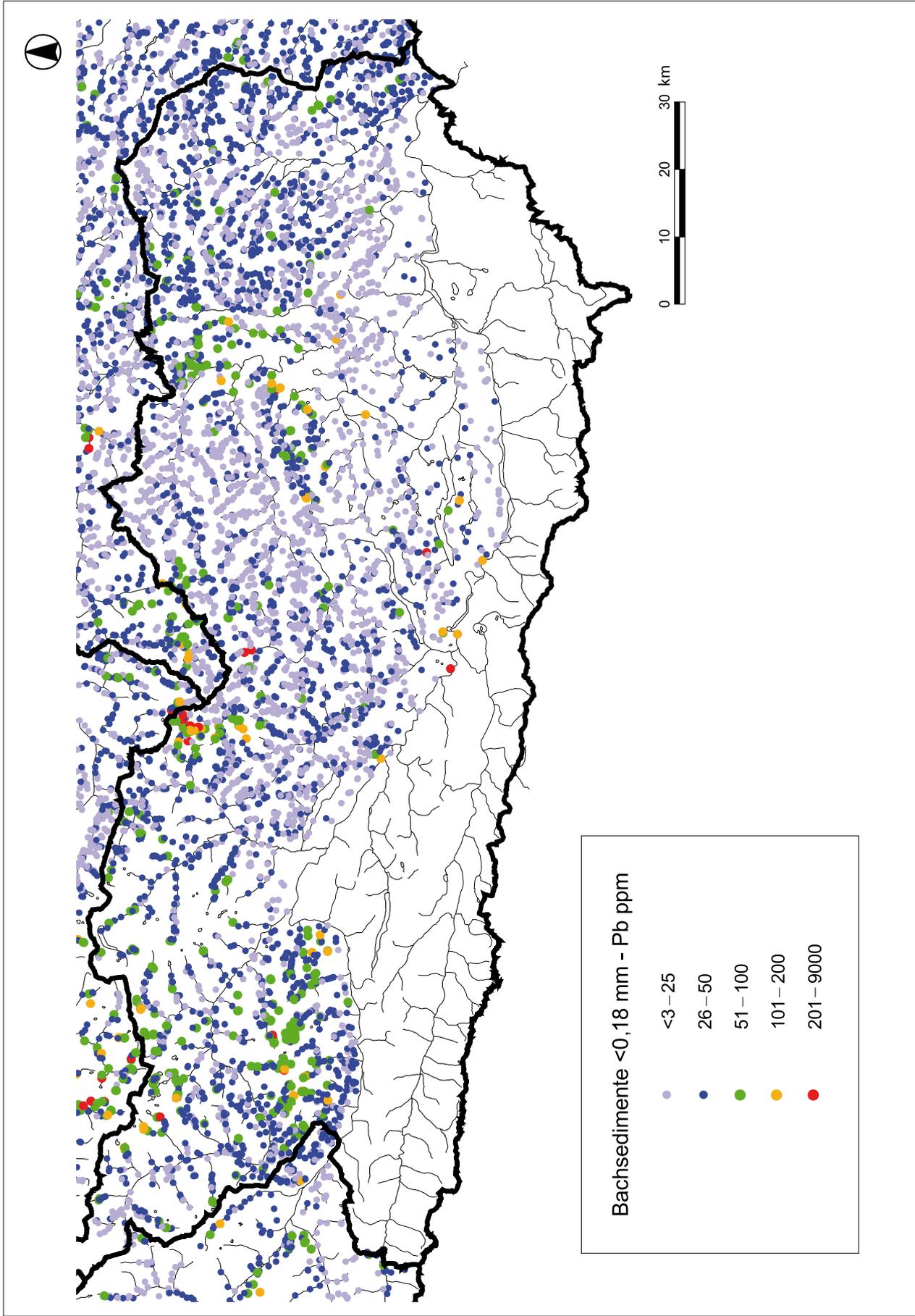


Abb. 190. Bundesland Kärnten; Bach- und Flusssedimente / Blei-Konzentration; Daten: „Geochemischer Atlas“ (THALMANN et al., 1989a), verwendete Kornfraktion < 180 µm, Multiementanalytik / Vollabschluss.

Beispiel 1: regionaler Vergleich Bach- und Flusssedimente – Bleiverteilung in Kärnten

Erste Interpretationsmöglichkeiten erschließen sich bereits durch die synoptische Darstellung verschiedener Projektergebnisse. Als Beispiel werden die Konzentrationsverteilungen von Blei in Bach- und Flusssedimenten des Bundeslandes Kärnten herangezogen und dafür drei Datensätze verwendet:

- a. Bach- und Flusssedimentgeochemie, Projekt „Kärntner Fließgewässergüteatlas“ mit Probenahme 1987 (MÜLLER & SCHWAIGHOFER, 1990); verwendete Kornfraktion < 20 µm, Nasssiebung, Analytik ausgewählter Spurenelemente mittels AAS im Königswasserauszug.
- b. Bach- und Flusssedimentgeochemie, Projekt „Umweltgeochemie Kärnten“ mit Probenahme 2005 (SCHEDL et al., 2008); verwendete Kornfraktion < 40 µm, Trockensiebung; Multielementanalytik/Vollaufschluss.
- c. Flusssedimente Probenahme im Rahmen des Programms der Wassergüteerhebung (nach WGEV, 1991), Mehrfachprobenahme 1991 bis 2003; verwendete Kornfraktion < 40 µm, Analytik ausgewählter Spurenelemente mittels AAS/ICP im Königswasserauszug.

Auch wenn die entsprechenden Analysenergebnisse sich auf unterschiedliche Medien und Analytik-Methoden beziehen, ergibt sich in der Zusammenschau ein logisches und interpretierbares Bild der Konzentrationsverteilungen von Blei in den Kärntner Fließgewässern (Abb. 189).

Eindeutig herausgearbeitet wird der Bereich der Blei-Zink-Vererzungen im Drauzug und damit gleichzeitig der damit verbundenen, ehemaligen Bergbauareale Bleiberg-Kreuth und östlich des Weißensees. Diese Einflüsse wirken sich insbesondere in der Gail und der Drau aus. Die Gailitz führt grenzüberschreitend auch den Einfluss aus dem ehemaligen Bergbauggebiet bei Raibl (Cave del Predil) der Gail zu. In der Drau östlich Klagenfurt sind die Auswirkungen dieser Bergbauareale immer noch nachweisbar. Die Bleikonzentrationen in Sedimenten der Drau nehmen in Richtung der slowenischen Grenze wieder zu, da rechtsufrige Seitenbäche mit Sedimenten aus den Blei-Zink-Vererzungsarealen in den Karawanken einmünden.

Die übrigen geogen bedingten Einflüsse werden deutlich, wenn die Informationen aus der Bach- und Flusssedimentgeochemie des „Geochemischen Atlas“ (THALMANN et al., 1989a) mit dazu herangezogen werden (Abb. 190). Höhere Blei-Konzentrationen verweisen dabei insbesondere auf

- lokale Vererzungen in den Hohen Tauern,
- lokale Vererzungen in der Kreuzeckgruppe,
- die Vererzungen und ehemaligen Bergbauareale in den Nockbergen sowie
- die Vererzungen und ehemaligen Bergbauareale im Umfeld von Friesach und westlich Treibach-Althofen.

Mit dieser Zusammenschau der Ergebnisse aus der Bach- und Flusssedimentgeochemie lassen sich praktisch alle Blei-Konzentrationen im Hauptgewässersystem Kärntens interpretieren.

Beispiel 2: regionaler Vergleich Bodendaten – Bleiverteilung in Kärnten

Dem regionalen Verteilungsbild von Spurenelementen in den Sedimenten der Gewässer kann das Verteilungsbild in Böden gegenübergestellt werden. Der dafür zur Verfügung stehende Hauptdatensatz betrifft die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur (AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, 1999). Die Probenahme für die Bodenzustandsinventur erfolgte nach einem vorgegebenen Raster. Die Aussagen der Bodenanalytik sind daher „zufällig“ und nicht durch ein bestimmtes Fachziel bereits eingengt. Viele BZI-Rasterpunkte kommen jedoch auf landwirtschaftlichen Flächen im Nahbereich von Gewässern zu liegen. Eine Reihe dieser Flächen wurde früher von Hochwässern überflutet oder sind immer noch im Einflussbereich von aktuellen Hochwasserereignissen. Bei Hochwasserüberflutung werden Sedimente auf diesen Flächen abgelagert, die in den jeweiligen Bodenaufbau integriert werden. Bodenproben auf diesen Flächen und entsprechende Bodenanalytik geben somit auch Auskunft über Einflüsse aus dem Einzugsgebiet der Gewässereinzugsgebiete. An solchen Situationen findet sich also eine fachliche Brücke von Bodendaten zu den Bach- und Flusssedimenten. Im Gegensatz zur sonstigen Aussage von Bodenanalytik, die sich rein auf den Beprobungspunkt bezieht, können aus Bodenprofilen aus Überflutungsflächen einerseits großräumigere Einflüsse abgeleitet werden, andererseits auch historische Entwicklungen oder Veränderungen bestimmter Emissionen im Einzugsgebiet abgelesen werden.

Die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur des Bundeslandes Kärnten lassen solche Zusammenhänge z.B. an der räumlichen Verteilung der Blei-Konzentrationen nachvollziehen (Abb. 191). Praktisch alle Punkte mit Konzentrationen > 120 ppm liegen entweder im direkten Einflussgebiet von Altbergbauen oder auf Überflutungsflächen, auf denen die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Bach-/Flusssedimente bei Hochwasser abgelagert werden können, die Bergbau-Einflüsse im Einzugsgebiet widerspiegeln. Verstärkt wird das räumliche Muster durch Einbeziehung von Analysenergebnissen an Böden auf Überflutungsflächen entlang Gailitz, Gail und Drau (Dreiecksymbole in Abbildung 191). Probenahme und Analytik für diesen Datensatz erfolgten in Kooperation mit dem Slowenischen Geologischen Dienst (GeoZS). Die räumlichen Verteilungsmuster, die aus Bach- und Flusssedimenten abgeleitet werden können, sind somit direkt vergleichbar mit denen aus regionalen Bodenuntersuchungen. Die Ergebnisse ergänzen sich und unterstützen jeweils die Interpretation des anderen Programms, obwohl sehr unterschiedliche Medien und Analysemethoden eingesetzt werden.

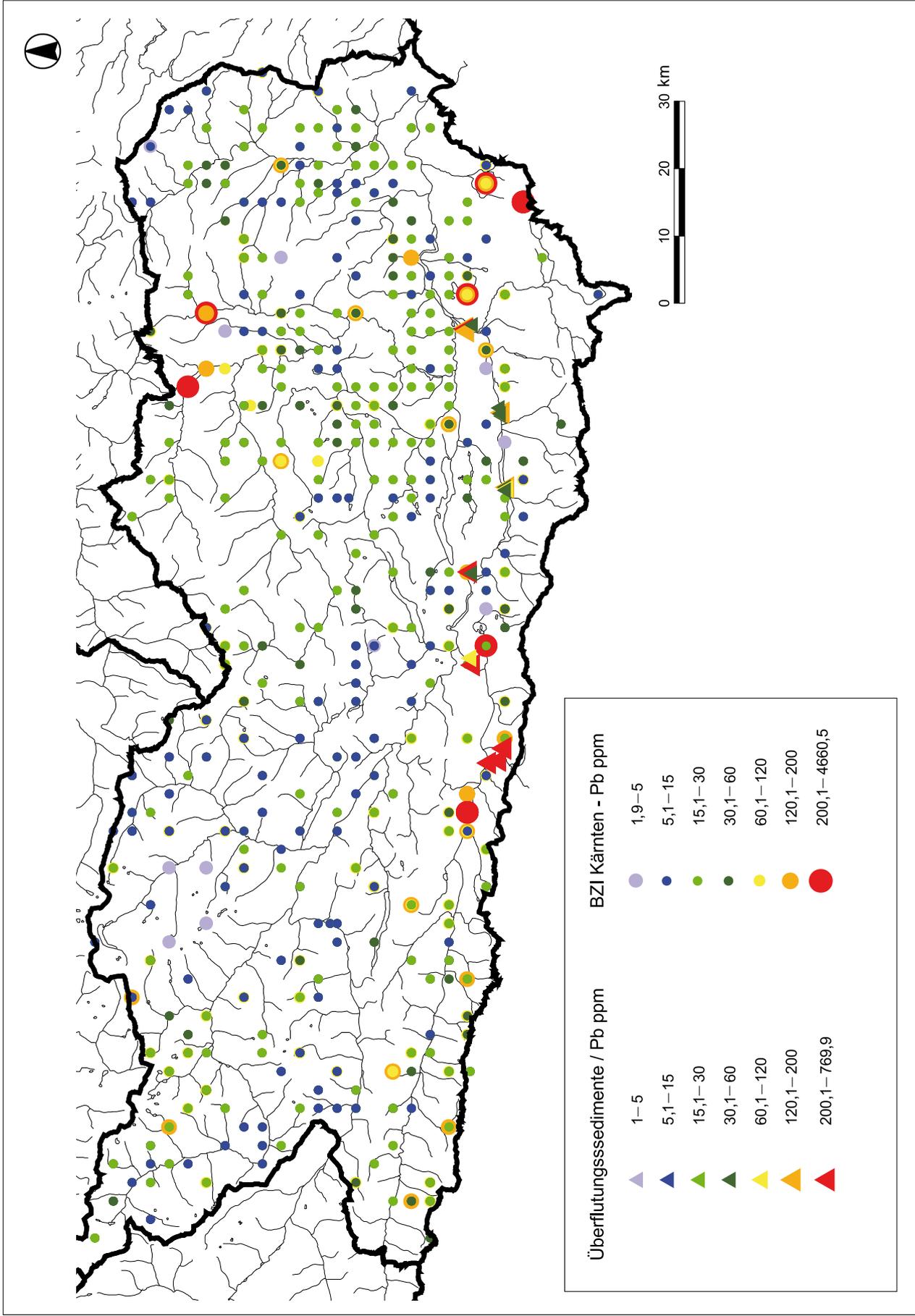


Abb. 191. Bundesland Kärnten; Bodenzustandsinventur 1999, räumliche Verteilung der Bleikonzentration (Kreisymbole); Bleikonzentration in Böden auf Überflutungsflächen (Dreiecksymbole).

Beispiel 3: regionaler Vergleich Bachsediment- und Bodendaten – Cadmiumverteilung in der Steiermark

Über die Verteilung von Cadmium in Umweltmedien in Österreich gibt es eine Reihe von Studien (z.B. REISINGER et al., 2009; SPIEGEL et al., 1999). Die durch Industrie, Gewerbe, Handel oder Haushalte induzierten Stoffströme sind auch quantitativ gut nachvollziehbar. In der Übersichtstudie von 2009 (REISINGER et al., 2009) wird aber festgehalten, dass der Informationsstand über Verteilung und Stoffflüsse im Naturraum zu gering ist. Stoffströme aus natürlichen Prozessen konnten daher nicht quantifiziert werden; die Auswirkungen von Bergbau wurden in dieser Studie darüber hinaus in einem Bewertungsparameter gemeinsam mit Land- und Forstwirtschaft subsummiert.

Mit Hilfe der Daten aus flächendeckenden Monitoringprogrammen (z.B. Bodenzustandsinventuren) und der systematischen Bachsedimentgeochemie können nun auch großräumige Verteilungsmuster im Naturraum für Elemente wie Cadmium dargestellt werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Umweltgeochemie Steiermark“ wurde der Versuch unternommen, die regionalen Verteilungsmuster verschiedener Schwermetalle an Hand der unterschiedlichen Umweltmedien Böden und Bachsedimente zu vergleichen. Für das Beispiel Cadmium standen als Daten zur Verfügung:

- Die Daten der Bach- und Flusssedimentgeochemie < 0,18 mm / Probenahme 2007 in der Steiermark (SCHEDL et al., 2010a).
- Die Daten der Bodenzustandsinventur Steiermark (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1998).
- Daten einer Spezialanalytik auf Cadmiumkonzentrationen in Bachsedimenten (< 0,18 mm) der Niederösterreichischen Kalkalpen (diese Daten wurden als Analytikkontrolle der Geologischen Bundesanstalt seitens ARC Seibersdorf zur Verfügung gestellt).

Der Versuch der gemeinsamen Visualisierung der Daten wurde vorgenommen, obwohl unterschiedliche Medien und unterschiedliche Analysengänge verglichen werden – Bachsedimente < 0,18 mm Vollaufschluss/Multielementanalytik/Böden < 2 mm Analytik der Schwermetalle im Königswasseraufschluss. Im Vordergrund steht ja nicht ein Methodenvergleich, sondern eine Diskussion regionaler, räumlicher Verteilungsmuster.

Die Analysenergebnisse obiger Datensätze für das Schwermetall Cadmium sind in Abbildung 192 gemeinsam visualisiert – Bodendaten als Dreiecke, Bachsedimentdaten als Kreise; jeweils nach vergleichbaren Konzentrations-

klassen. Die Grafiken in Abbildung 193 zeigen ein differenzierteres Bild der Cadmiumverteilung in Böden auch mit höheren Konzentrationen als in den Bachsedimenten.

Trotz dieser Unterschiede ergänzen sich die Informationen bei der räumlichen Darstellung sowohl nach den regionalen Verteilungsmustern, als auch dem Nachweis verschiedener Quellen. Die jeweiligen Muster bestätigen einander in den großflächigen Bereichen sehr niedriger Konzentrationen (wie z.B. in den Kristallingebieten) sowie bei kleinräumig hohen Konzentrationen (wie z.B. im Umfeld der Cd-führenden Blei-Zink-Vererzungen im Grazer Paläozökum).

Besonders auffällig ist jedoch die hohe räumliche Korrelation bei den hohen und sehr hohen Cd-Konzentrationen in größeren Abschnitten der Nördlichen Kalkalpen (Schneealpe, Hochschwab, Totes Gebirge, Dachstein). Aus den Daten der verschiedenen Bodenzustandsinventuren ist das Phänomen hoher Blei- und Cadmiumkonzentrationen entlang des gesamten Verlaufs der Nördlichen Kalkalpen belegt (UMWELTBUNDESAMT, 2000). Der Grund dafür wird überwiegend in atmosphärischer Deposition aus Fernimmission vermutet.

Die Bachsedimentgeochemie bestätigt dieses Phänomen und weist freilich auch nach, dass die Böden auf den Karbonathochflächen nicht nur als Senken für die Cd- und Pb-Deposition dienen, sondern dass auch entsprechende Stoffflüsse in die anschließenden Oberflächengewässer stattfinden. Die Ergebnisse der Bachsedimentgeochemie in den angrenzenden niederösterreichischen Kalkalpen belegen weiters die Tatsache, dass es sich nicht um ein lokales Phänomen handelt.

An dieser Stelle können nur die regionalen Zusammenhänge dargestellt werden; wie die Stoffflüsse im Detail ablaufen, dafür wären Spezialuntersuchungen notwendig.

Hier sind nur drei Beispiele für die mögliche fachlich-inhaltliche Verknüpfung von regionalen oder überregionalen Analytik-Datensätzen verschiedener Umweltmedien angeführt und andiskutiert worden. Auf Grund der Datenfülle, die für das gesamte Bundesgebiet vorliegt, wären verschiedene, vergleichbare Auswertungsansätze möglich. Neben dem Zielmedium Böden können auch für Oberflächengewässer (fließende Welle, Schwebstoffe, Sediment) und Grundwässer solche fachübergreifenden Interpretationen strukturiert werden. Wenn auch die Mineralogie als Methodik einbezogen wird, können die Geowissenschaften auch entsprechende Beiträge zur Charakterisierung und Bewertung atmosphärischer Einträge (z.B. Feinstaub) liefern. Die entsprechenden Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Datensammlungen sind in Tabelle 23 dargestellt.

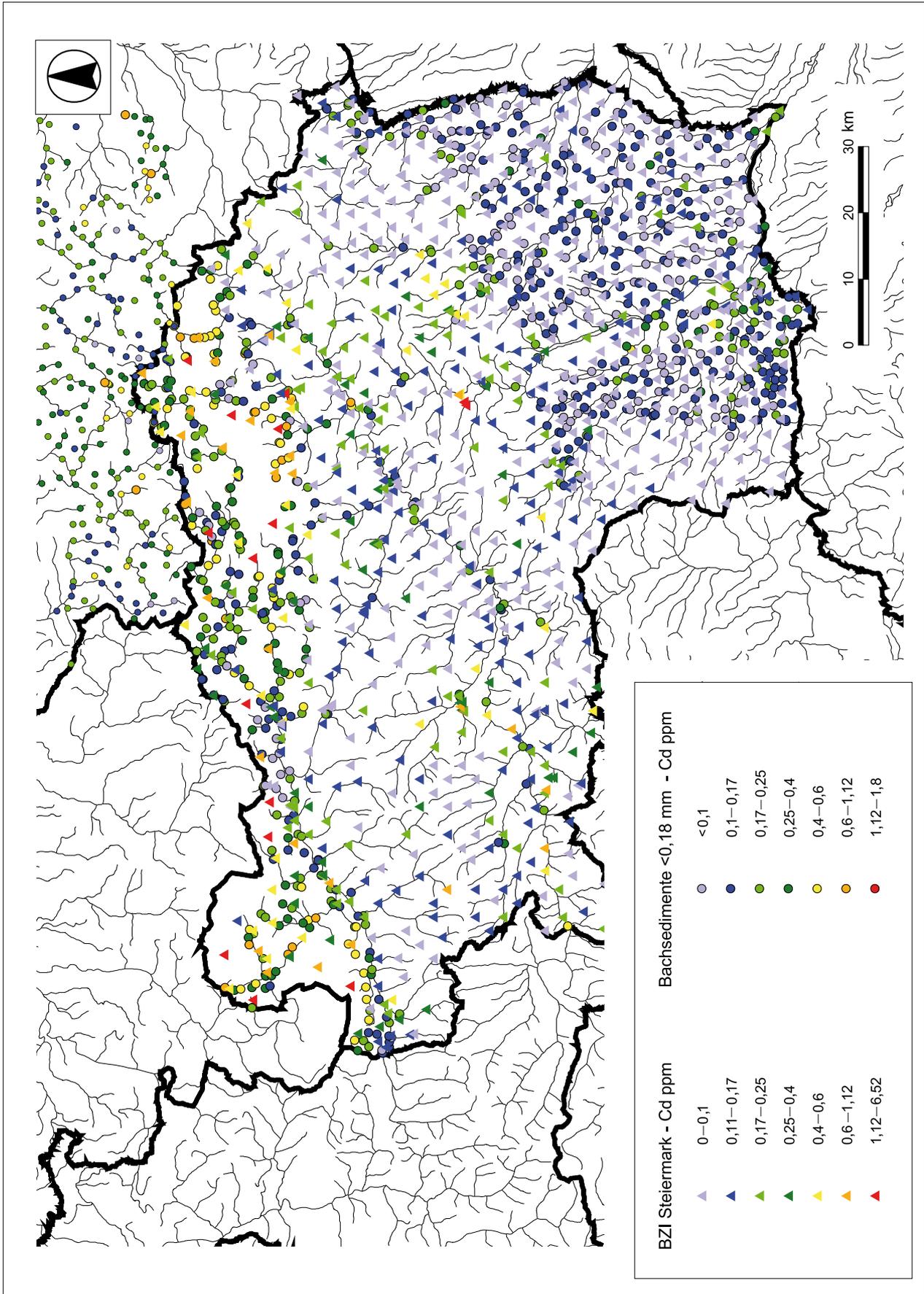


Abb. 192. Cadmiumverteilung in Böden und Bachsedimenten in der Steiermark und dem angrenzenden Niederösterreich.

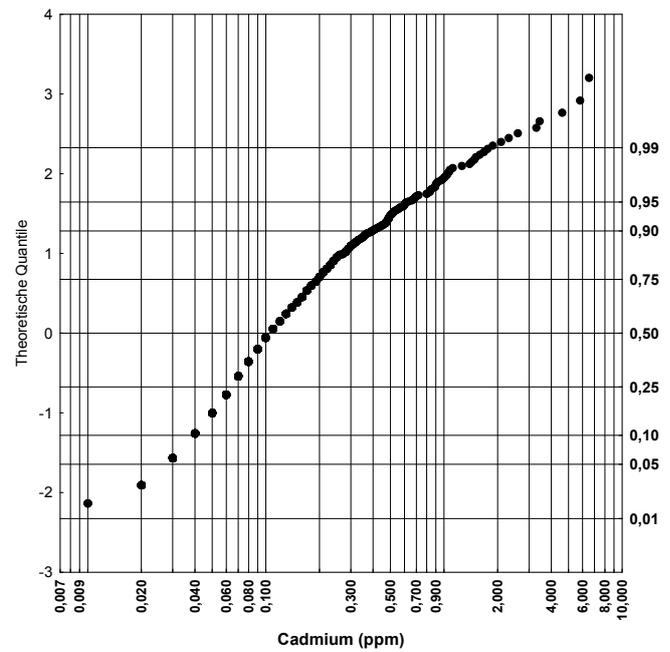
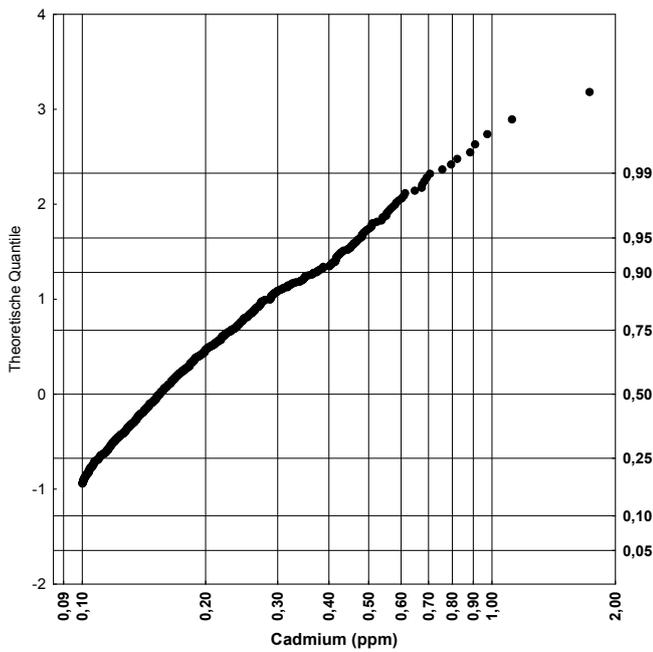


Abb. 193. Steiermark, Verteilung der Cadmiumkonzentration in Bachsedimenten < 0,18 mm (linke Grafik) und Unterböden (rechte Grafik).

Kompartimente / Stoffflüsse	Monitoring (vorhandene Daten)	Komplementäre geowissenschaftliche Daten	Entsprechende geowissenschaftliche Datenbanken
Luft	Staubmessungen nach IG-L. Messungen der nassen Deposition. Sondermessprogramme im Umfeld von Industriebetrieben.	Mineralogisch-mikrochemische Phasenuntersuchungen an Staubproben und Staubphasen.	Datenbank für mineralogisch-mikrochemische Phasenanalysen (geogene und technogene Phasen).
Böden	Bodenzustandsinventuren Waldbodenzustandsmonitoring	Bodengeochemische Untersuchungen in ausgewählten Bereichen.	Datenbank für Bodengeochemie.
Oberflächengewässer	WGEV (GZÜV) Oberflächengewässer / fließende Welle WGEV Oberflächengewässer / Sedimente	Hydrochemische Untersuchungen an der fließenden Welle in ausgewählten Bereichen. Systematisches Programm der Bach- und Flusssedimentgeochemie.	Datenbank für Hydrogeochemie. Datenbank für Bach- und Flusssedimentgeochemie.
Grundwässer	WGEV (GZÜV) Grundwässer	Hydrogeochemische Untersuchungen.	Datenbank für Hydrogeochemie.

Tab. 23. Hauptkompartimente und Datengrundlagen für die verschiedenen Monitoring-Programme.

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

(ALBERT SCHEDL & HASSAN NEINAVAIIE)

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

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

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

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

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

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

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

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

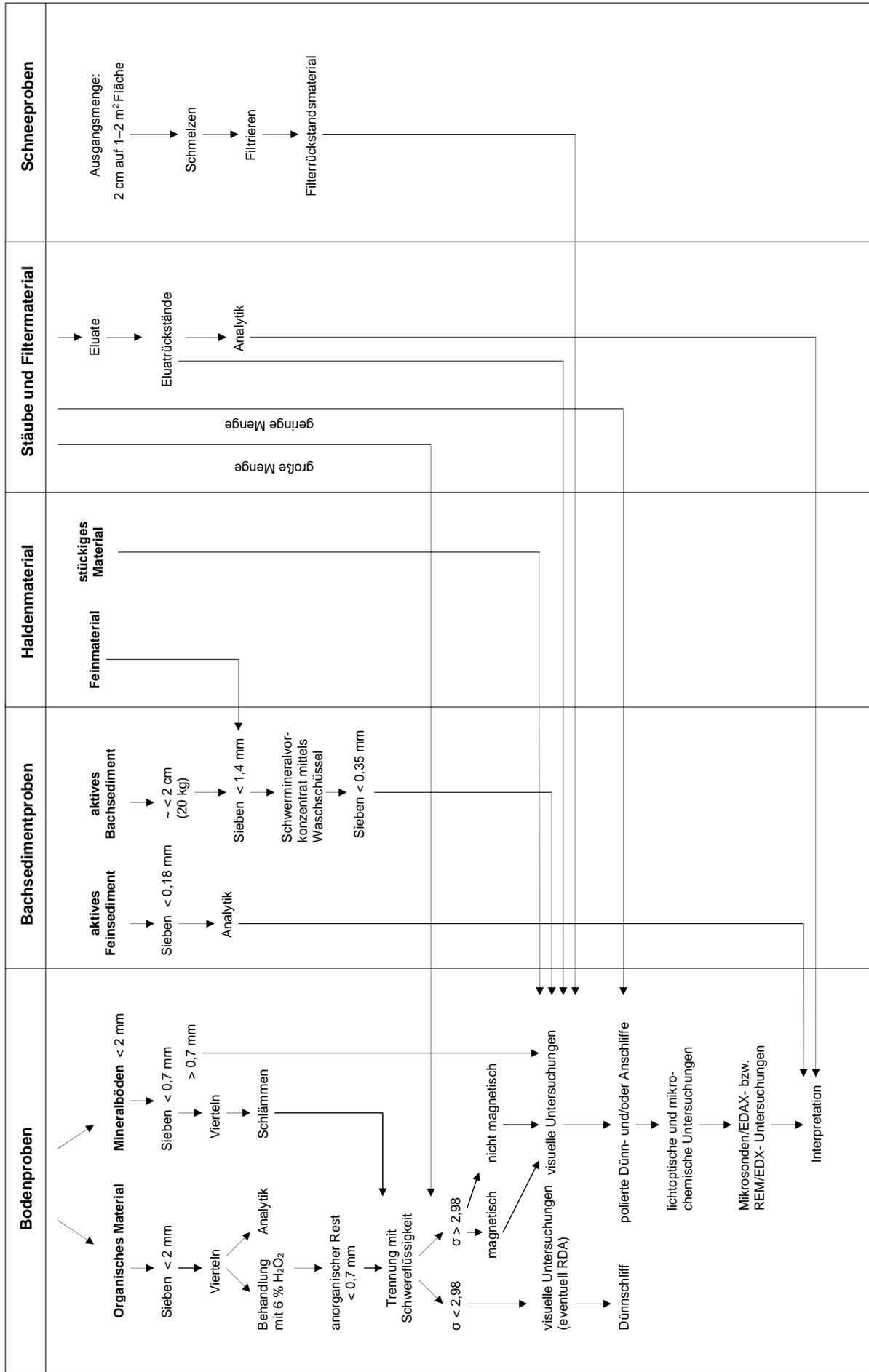


Abb. 194. Prinzip-Schema der Aufbereitungs-, Präparations- und Untersuchungsschritte für verschiedene Probenarten (NEINVAIE et al., 2008).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

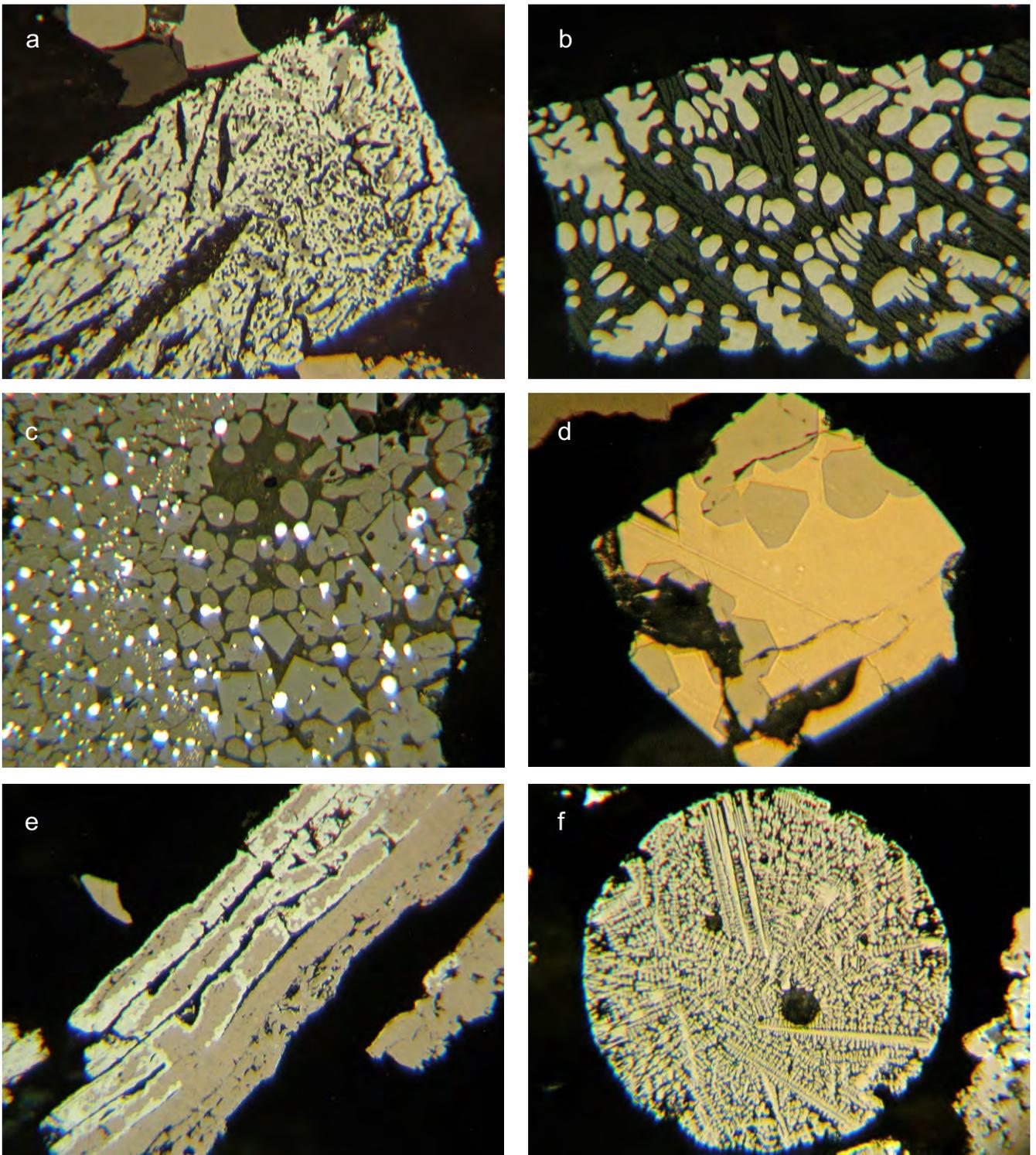


Abb. 195.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

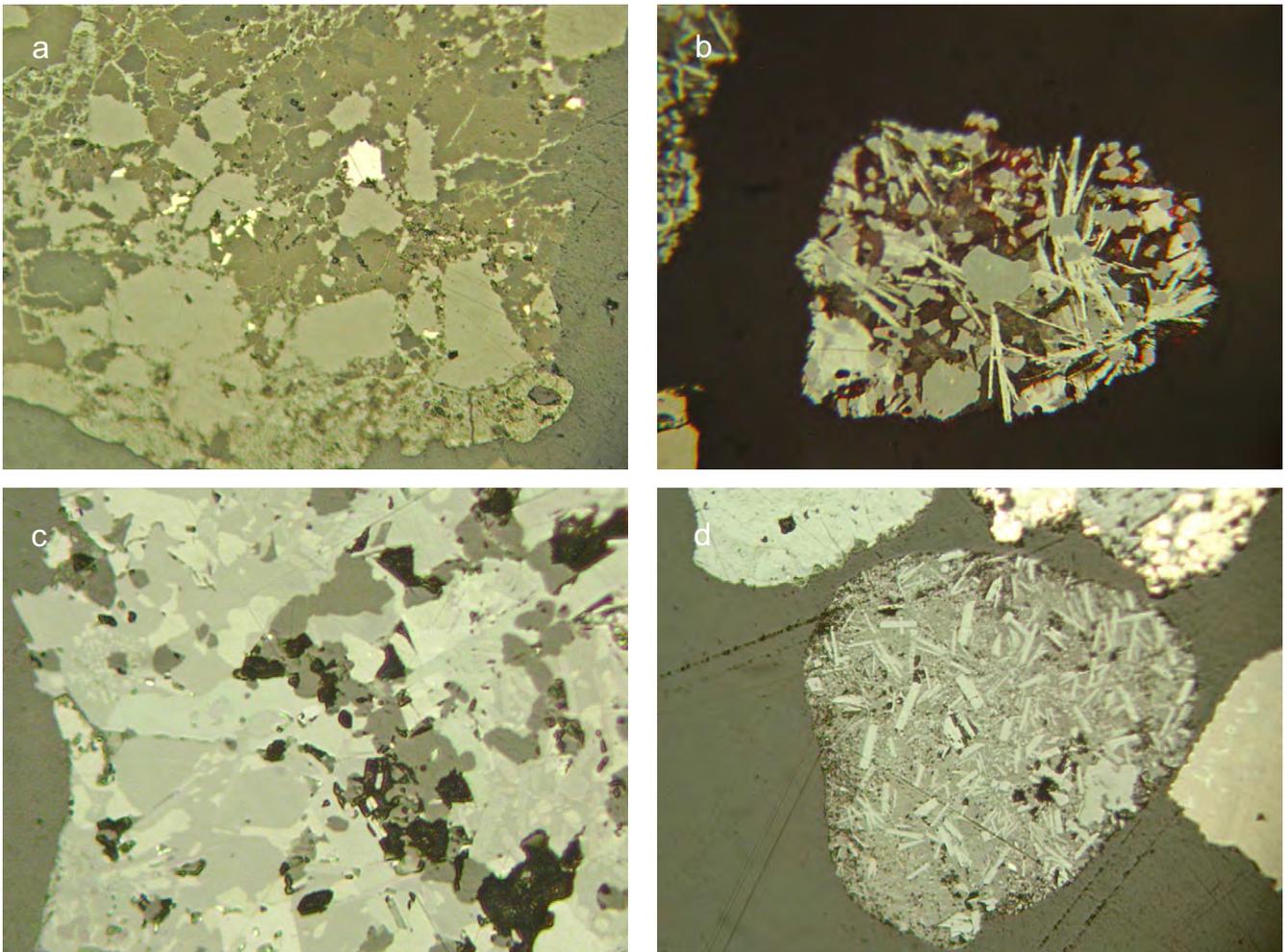


Abb. 196. Typische geogene und technogene Phasen des historischen Buntmetallbergbaus und der Buntmetallindustrie in Flusssedimenten aus dem Raum Bleiberg-Kreuth und Arnoldstein (aus SCHEDL et al., 2008).
 a) Vererzung (Sphalerit und Galenit in kataklastischem Dolomit), b) Blei-Zink-Schlacke (Plumboferritnadeln, Pb-Zn-Fe-Spinell, Bleioxid), c) Zinkschlacke (Magnetit, Calciumferrit, Sphalerit), d) Bleischlacke (Magnetoplumbit, Bleisilikat, Pb-Zn-Fe-Spinell).

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

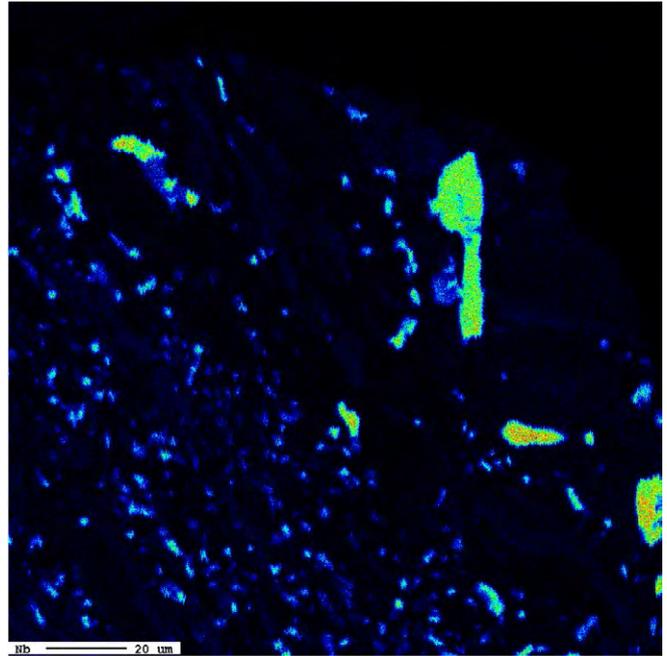
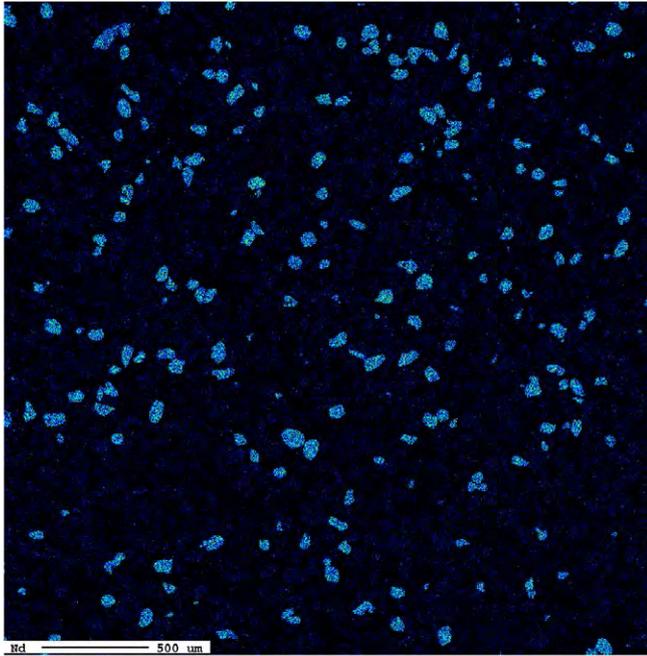


Abb. 197. Neodym führende Monazite (links), Einschluss von Columbit-(Fe) $\text{Fe}^{2+}\text{Nb}_2\text{O}_6$ in Cassiterit SnO_2 (rechts); Schwermineralkonzentrate aus Sanden im Gebiet nördlich Gmünd (aus SCHEDL et al., 2014).

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

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

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

8. English Summary

(SEBASTIAN PFLEIDERER)

Introduction

The Austrian stream sediment geochemistry programme was carried out between 1978 and 2010 by the Geological Survey of Austria (GBA) and the mining companies VOEST-Alpine (VA) and Bleiberg Bergwerksunion (BBU) with the main objective of providing a nation-wide geochemical baseline for metal ore prospection in Austria. The scheelite deposit of Mittersill in Salzburg had been discovered shortly before the onset of the programme and several prospection activities were under way targeting tungsten, molybdenum, lead, zinc and antimony among other elements. The systematic geochemistry programme was meant to provide the basis for focused, local prospection projects. However, from the beginning it was intended to use the analytical results for environmental geochemistry as well. Parallel to sampling and analysing of stream sediments, other studies therefore complemented the programme by analysing rock samples, heavy minerals, surface water, soils and plants. The mineralogical-microchemical phase analysis of heavy minerals in particular proved essential for the distinction between geogenic and anthropogenic effects on the distribution of chemicals in the environment.

Programme structure and organisation

The first phase of the programme (1978–1989) was financed by the Federal Ministries of Science & Research and Trade & Industry, and focused on the Bohemian Massif in northern Austria as well as the Central Alps. While the GBA was responsible for sampling in the Bohemian Massif, VA sampled most of the stream sediments in the Central Alps and BBU worked in the eastern part of the Central Alps. Within their respective sampling areas, the two mining companies had the option to use the analytical results for their own purposes of mineral prospecting. Sampling densities reached on average one sample per km², laboratory analyses were carried out by the Geotechnical Institute of Austrian Research Centre Arsenal in Vienna. The Mining University of Leoben and the Research Institute Joanneum were in charge of digital data processing and quality control. Twelve years after the onset of the programme, the results were published in the form of a geochemical atlas with maps of element concentrations, prepared mainly by VA, and an accompanying text volume (THALMANN et al., 1989a, b).

The second phase of the programme (1991–2010) focused on the remaining areas in Austria, mainly the Southern Alpine units, the Southern and Northern Calcareous Alps, the Flysch zone and the sedimentary basins. For these areas, individual projects were commissioned by each of the nine federal states of Austria together with the Federal Ministry of Science & Research, and were completed over the course of almost 20 years. Except for the sampling in Lower Austria, mining companies were not involved in these projects. Compared to the previous campaign, the objectives shifted from mainly providing the basis for ore prospecting to addressing aspects of environmental geochemistry such as the derivation of natural background values, the delineation of anthropogenic contamination or the as-

essment of the environmental impact of mine waste. The list of elements for geochemical analysis was enlarged to include e.g. cadmium or mercury, which are relevant in environmental studies. However, sampling densities were reduced to approximately 0.1 samples per km². Sampling procedures, sample preparation as well as the laboratory institute carrying out the analyses (Austrian Research Centre Arsenal and its successor ARC Seibersdorf) were kept constant to ensure continuity of the programme and comparability of results. In addition, a certain overlap of sampling areas was planned and control samples were taken at locations from the previous campaign. The final results were published in individual project reports for Lower Austria (KRALIK & AUGUSTIN-GYURITS, 1994; AUGUSTIN-GYURITS & HOLNSTEINER, 1997), Upper Austria (AUGUSTIN-GYURITS et al., 1998), Salzburg (WIMMER et al., 2002a), Tyrol (WIMMER et al., 2002b), Vorarlberg (KLEIN et al., 2005), Carinthia (KLEIN et al., 2006, 2007; SCHEDL et al., 2008), Burgenland (KLEIN et al., 2008), Styria (SCHEDL et al., 2009, 2010a, b), and Vienna (PFLEIDERER et al., 2010).

Sampling methods, sample preparation and chemical analysis – Bohemian Massif and Central Alps

In the Bohemian Massif and the Central Alps, systematic sampling and geochemical analysis of stream sediments were carried out for mineral prospection particularly for metals and metalloids. For this purpose, the grain size fraction to be collected and analysed was set to < 0.18 mm (fine sand and silt), similar to programmes in other European countries and in Canada. The objective was to obtain an integral picture of lithology in the catchment area and to reveal regional element distribution patterns.

Previous experience and methods for stream sediment sampling – gained by the geological surveys of Germany, Sweden and Norway – were adapted to alpine conditions in Austria. These included torrents with highly variable discharge and sediment load, stonewalled channels, constructed stream beds without deposition of fine-grained sediments, slow flowing and deep streams without easy access to river banks, in addition to streams in intensively farmed areas overgrown by plants and carrying abundant organic material. Sampling locations were planned on the basis of topographic maps at the scale of 1:50,000 and targeted all streams and tributaries up to the lowest order. Only large, very high order rivers were occasionally omitted to avoid anthropogenic influence. Where no sample could be taken, as in some of the above-mentioned circumstances, sampling locations were shifted up- or downstream by a distance of up to 50 m. The sample material constituted active sediment, i.e. deposits frequently moved by running water. Stream sediment samples of approximately 1 kg were collected to yield 50 g of material for analysis with a grain size < 0.18 mm. Samples were taken even if the river was dry at the time of sampling. If necessary, samples were dry-sieved in situ to obtain the required amount of fine-grained material. In 1979, the stream sediment sampling procedures were incorporated into the Austrian Standard (ÖNORM) G 1031.

Sample preparation in the field consisted of drying the samples in well aired rooms, followed in the laboratory by weighing, oven drying at 110 °C, renewed weighing to determine the water content, dry-sieving to eliminate grain sizes > 0.18 mm, and finally renewed weighing of the sieved sample.

Chemical analysis of the samples included 35 elements, concentrations were measured using five different methods. Concentrations of the elements Ba, Be, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, La, Mg, Mn, Na, Ni, P, Sc, Sr, Ti, V and Zn were measured using the method of inductively-coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) after dissolving the samples in a mixture of nitric acid, hydrofluoric acid and perchloric acid at a ratio of 5:1:1, respectively. Concentrations of the elements Al, K, Nb, Rb, Th, U, W, Y and Zr were measured using wavelength-dispersive X-ray fluorescence (XRF) spectrometry after producing a compressed powder pellet in a boric acid matrix from the sample. Concentrations of the elements Ag, Mo, Pb and Sn were measured using optical emission spectrography (OES). Concentrations of Sb were measured using atomic absorption spectrometry (AAS), and concentrations of As were measured using the semi-quantitative Gutzeit test.

Analytical results were originally stored in a database in dBase format which, in addition to element concentrations, included sample location number, laboratory number, sample weight, geologic-tectonic unit at the sampling point and within the provenance area, point coordinates, as well as sampling year and team. Presentation of results included 1:50,000 scale maps showing sample locations within geologic-tectonic units, as well as – for each element – univariate point maps and interpolated surface maps. The “Geochemical Atlas of the Republic of Austria 1:1,000,000 – Bohemian Massif and Central Alps” was published by THALMANN et al. (1989a, b). Currently, the GBA holds the data set on SQL servers for further geostatistical and GIS analyses.

Sampling methods, sample preparation and chemical analysis – remaining alpine units and sedimentary basins

For the second phase of the programme, aspects of environmental geochemistry were considered more important than metal ore prospection. The new objectives were to characterize both natural background levels and anthropogenic impacts. Consequently, the grain size fraction < 0.04 mm was sampled in addition to the fraction < 0.18 mm. Large rivers were no longer omitted, and the hydrochemical/hydrophysical conditions of surface water were recorded in addition during sampling. Due to budget constraints, sampling density was reduced on average to one sample per 10 km². In order to still reach the objectives, half the sampling locations were allocated to low order river systems, i.e. small catchment areas, while the other half were placed along larger rivers close to settlements, industrial sites, wastewater treatment plants and other possible emitters of pollution.

Sampling procedures stayed the same as during the first sampling campaign. For the hydrochemical/hydrophysical characterisation of surface water, water temperature, electrical conductivity, pH value and redox potential were

measured in the stream and in the water-saturated sample (before decanting). These measurements were performed at all sampling points except for locations in Lower Austria. For additional quality control, every 50th sample point was sampled twice at the same location.

Due to budget constraints, the grain size fraction < 0.04 mm was analysed only for samples from the states of Lower Austria, Vorarlberg, Carinthia, Styria, Burgenland and Vienna. For the remaining states, the samples are currently kept in storage at the GBA for future analysis. In the case of Upper Austria, samples have been already sieved and prepared for the laboratory. Sample preparation firstly consisted of drying samples at room temperature – to reduce the loss of mercury which results when samples are dried in the oven – for several weeks until the water content was below two weight percent. Subsequently, dried samples were carefully pressed with a porcelain mortar to re-separate grains without grinding them. After weighing, the samples were dry-sieved for 10–20 minutes using stainless steel sieves. Through renewed weighing, the weight percentages of the two grain size fractions were determined. Two 50 ml polyethylene flasks were filled with material from each fraction, one was given to the laboratory for analysis, the other was retained in storage.

Water content was determined by weighing samples before and after oven-drying at 105 °C over night. Subsequent weight loss after oven-drying at 360 °C for two hours and cooling in a desiccator was equated with the amount of (oxidised) organic material although weight change may also be due to iron hydroxide and sheet silicate minerals loosing water at these temperatures. Weight loss after oven-drying at 1,000 °C corresponds to the amount of crystal water and CO₂-loss of carbonates.

The spectrum of elements analysed in the laboratory was enlarged by eight additional elements. These included the main element Si and the trace elements Cd, Cl, F, Hg, Li, S and Se. Only in samples from Lower Austria were Cl and Li concentrations not measured. While Cd and Hg are relevant for environmental studies, and Se and Li are of nutritional interest, Cl and S allow for an improved geological characterization of the sediment as they indicate salt or gypsum deposits or sulphide mineralizations.

Due to significant advances in analytical techniques and improvements in detection limits, the methods were slightly altered compared to the first phase of the programme. This has implications for the comparability of results discussed in the element-specific sections of this publication. Concentrations of the elements Al, Ba, Ca, Cl, Cr, F, Fe, Ga, K, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Si, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn and Zr were measured by wavelength-dispersive X-ray fluorescence (XRF) spectrometry, while the trace elements Ag, As, Be, Cd, Ce, Co, Cu, Hg, La, Li, Mo, Sb, Sc, Se, Sn, U and W were determined by inductively-coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Analytical results of the second phase of the programme were originally stored as separate data sets for each project. Evaluation and interpretation focus varied among the federal states, with the consequence that 14 individual project reports were published to describe the outcomes. The present publication brings together all data for the first time. The GBA currently holds all data, including the data of the first campaign, as one data set consisting of

sample location number, point coordinates, field measurements, element concentrations and reference to the individual project campaigns.

Quality control, multiple sampling and comparison of methods

At the beginning of the stream sediment programme, the use of machine standards constituted the only quality control and it was carried out internally by the laboratory. However, an external quality control was soon added, using a natural, geological standard ("Danube standard") as well. Additional measures were introduced to examine possible causes of error during sampling, laboratory analysis and data processing. Steps which were undertaken to check for sampling effects included multiple sampling at one location, dividing samples into four or six sub-samples which were separately analysed, simultaneous sampling by different teams, and repeated sampling at the same location after two years. Measures taken to check the quality of analytical results included comparative sampling and analysis by different laboratories, applying different analytical methods to the same sample, and comparing the results of different grain size fractions or between stream sediments, rocks and soils. To test for biases in the geo-statistical data analysis, different methods were applied by different research teams on the same data sets.

Multiple sampling and sample division show only minor deviations with respect to main element concentrations, but significant differences in trace element concentrations. Heterogeneities within the sediment or imperfect sample division may be the cause. These measures of multiple sampling or sample division may be of limited use for quality control of the laboratory. Different sampling methods – carried out by the British Geological Survey (BGS) and the GBA at identical locations – and subsequent analysis by different laboratories, reveal general correlations between element concentrations, but systematic differences remain and results are considered incomparable. This indicates that the GBA's stream sediment geochemical data – obtained by adhering to one constant set of sampling procedures – can be used for relative comparison of element concentrations between different regions in Austria but not for absolute comparison to other data sets. Finally, repeated sampling after two years can be used for laboratory control if the exact same sampling points are revisited, the same sampling procedures are followed, and any natural variability of the sediment over time, due e.g. to changes in hydrological conditions, can be excluded. Comparison between the results of two different sampling years shows minor differences between main element concentrations but large variations for trace elements. It remains unclear whether the cause of these discrepancies lies in sampling team performance, laboratory quality or true variations of sediment composition.

Element-specific results and discussion

For each element, the present publication provides general information on the geogenic and anthropogenic sources of the element, on important carrier minerals, on the abundance in certain minerals, and on the element's behaviour in the environment. Then, the element concentra-

tions in Austrian stream sediments are discussed and presented as diagrams of cumulative distributions and, for most elements, as interpolated surface maps of regional distributions. Due to poor comparability between results of individual sampling campaigns and differing analytical methods, interpolation was performed only for certain elements and in some cases only in certain areas. In the following paragraphs, the discussion of element concentrations of Austrian stream sediment samples will be summarized. Spatial distribution patterns refer to concentrations in the grain size fraction < 0.18 mm, while frequency distributions also include references to the grain size fraction < 0.04 mm.

Ag – Silver: number of analyses: 34,218; number of measurements above quantification limit: 33,033; minimum value: 0.009 ppm, maximum value: 28 ppm.

Concentrations > 1 ppm Ag occur as isolated and disperse data points, some of them associated with anthropogenic emitters such as hospitals or communal sewage water. Geogenic anomalies occur near poly-sulphide Pb-Zn-mineralizations or Au-mineralizations (e.g. in Schladminger Tauern, Kreuzeckgruppe or central Hohe Tauern). Concentrations < 0.9 ppm Ag do not reveal any regional pattern. Interpolation between data points was not performed.

Al – Aluminium: number of analyses: 34,022; number of measurements above quantification limit: 33,993; minimum value: 0.05 %, maximum value: 20.48 %.

The regional distribution reflects the occurrence, or absence, of silicates such as feldspar, mica, amphiboles or clay minerals and therefore describes the lithology of sample provenance areas. Very high concentrations (> 10 % Al) correlate spatially with the occurrence of phyllites or mica schists. In contrast, stream sediments in Weinsberg granite areas of the Bohemian Massif display lower concentrations (< 10 % Al) due to the fact that weathering leads to Al-bearing feldspars accumulating in grain size fractions > 0.18 mm. Carbonate rocks in the Northern and Southern Calcareous Alps produce stream sediments with very low Al concentrations (< 4 % Al). In Neogene and Quaternary sedimentary basins, stream sediments are dominated by quartz minerals and exhibit low to medium Al concentrations (5–8 % Al).

As – Arsenic: number of analyses: 34,333; number of measurements above quantification limit: 19,270; minimum value: 0.1 ppm, maximum value: 1,400 ppm.

Regional patterns of As concentrations are entirely controlled by geogenic factors. Most of the samples in the Bohemian Massif show values < 2 ppm As, in the Molasse basin, Vienna basin, Helvetic zone or Northern Calcareous Alps < 10 ppm As. Values > 100 ppm As are associated either with localised As-mineralizations or with more widely spread sulphide mineralizations within the Drauzug-Gurktal nappe system, the Koralpe-Wölz nappe system or the Semmering-Wechsel region.

Ba – Barium: number of analyses: 34,289; number of measurements above quantification limit: 34,153; minimum value: 5 ppm, maximum value: 19,264 ppm.

The two main sources of barium in stream sediments constitute Ba-bearing silicates, in particular feldspars, and barite veins associated with mineralizations. The first source

is responsible for elevated values (500–1,000 ppm Ba) in the Bohemian Massif and in Austroalpine crystalline units. Even higher concentrations occur in the vicinity of the Pb-Zn-mineralization of Bleiberg-Kreuth (> 6,000 ppm Ba), of barite deposits at Semmering, and in numerous abandoned mining areas (Friesach, Gusswerk and St. Christoph am Arlberg). However, certain occurrences of Pb-Zn-mineralizations are not accompanied by barite veins (Imst, Nassereith and Fernpass) and stream sediments near those areas lack elevated Ba concentrations. In the Northern and Southern Calcareous Alps, concentrations fall below 300 ppm Ba, in Neogene and Quaternary sedimentary basins values range between 300 and 500 ppm Ba.

Be – Beryllium: number of analyses: 34,215; number of measurements above quantification limit: 33,588; minimum value: 0.08 ppm, maximum value: 30 ppm.

Elevated concentrations (> 10 ppm Be) in stream sediments occur in areas of felsic magmatic rocks (granites, granitoids, pegmatites) in the Bohemian Massif, the Austroalpine crystalline units and in the Sub-Penninic nappes. In the Grauwackenzone, the Paleozoic of Graz, in Eastern Tyrol and in the Gurktal Alps, shales and phyllites, which are derived from these granites, also lead to stream sediments enriched in beryllium (5–10 ppm Be). Values < 2 ppm Be are found in the Molasse basin, the Helvetic zone, the Flysch zone, the Northern and Southern Calcareous Alps and in intra-montane basins.

Ca – Calcium: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,302; minimum value: 0.02 %, maximum value: 42.34 %.

High concentrations (> 10 % Ca) in stream sediments coincide with areas made of carbonate rocks, i.e. the Northern and Southern Calcareous Alps. Furthermore, rock suites in Vorarlberg's Molasse zone and Helvetic zone are characterised by carbonates and, consequently, by high Ca concentrations in stream sediments. In areas dominated by crystalline rocks, values correlate with the amount of Ca-bearing silicates (epidote, amphibole, plagioclase) in these rocks. Alternating carbonate and non-carbonate series – as in the Penninic nappes – are traced by alternating Ca concentrations in the stream sediments. Similarly, marble units within crystalline rock suites, and even localised, isolated carbonate occurrences, can be identified in regional stream sediment geochemical patterns. Sediments of rivers originating in the Northern Calcareous Alps, such as the rivers Traun, Alm, Steyr, Ybbs, Traisen, Triesting or Piesting, keep a carbonate matrix along their course until they join the next larger river.

Cd – Cadmium: number of analyses: 4,678; number of measurements above quantification limit: 3,312; minimum value: 0.05 ppm, maximum value: 113.32 ppm.

Until the middle of the 1990's, quantification limits of existing analytical chemistry methods prevented the reliable measurement of natural Cd concentrations in stream sediments (0.1 ppm Cd). During the first phase of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps), samples were not analysed for Cd. Analytical results of samples collected more recently still exhibit implausible distribution patterns and no interpolated surface map was constructed for this reason. Only anomalies (> 3 ppm Cd) are considered trustworthy and appear asso-

ciated with Pb-Zn-mineralizations in the western Tyrolian and the Southern Calcareous Alps.

Ce – Cerium: number of analyses: 34,306; number of measurements above quantification limit: 34,283; minimum value: 0.22 ppm, maximum value: 3,590 ppm.

Occurrences are linked to the presence of heavy minerals, in particular monazite. Therefore, not only the lithological composition of the catchment area but also the specific circumstances of sediment transport and deposition, control the concentrations of Ce. Enrichment of heavy minerals in stream sediment takes place behind obstacles in the river bed, most notably in the small grain size fraction. With respect to lithological controls, elevated concentrations (> 300 ppm Ce) occur in granite areas of the Bohemian Massif since granites naturally contain abundant Ce-bearing, heavy minerals. In situ weathering of these rocks further increases this abundance as these minerals are strongly resistant to weathering. The lowest concentrations (< 30 ppm Ce) in stream sediments appear in the Northern and Southern Calcareous Alps, followed by slightly higher values (30–100 ppm Ce) in Neogene and Quaternary sedimentary basins, while stream sediments in the Central Alps exhibit values of 100–200 ppm Ce.

Cl – Chlorine: number of analyses: 3,526; number of measurements above quantification limit: 2,827; minimum value: 16 ppm, maximum value: 593 ppm.

Analytical results are not present for the early phases of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif, Central Alps and Lower Austria) and construction of interpolated surface maps was omitted in these areas. In the data sets of later sampling campaigns, areas with elevated concentrations (> 150 ppm Cl) mark individual massifs in the Northern Calcareous Alps (Schneealpe, Hochschwab, Gesäuse, Dachstein, Tennengebirge and Karwendel). Whether this is caused by different rock types, facies or other factors remains unclear. Within the Neogene and Quaternary sedimentary basins, values range from 30 to 100 ppm Cl. Possible impacts of intensive agriculture still need to be investigated in detail.

Co – Cobalt: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,157; minimum value: 0.5 ppm, maximum value: 226 ppm.

Although 90 % of the data show concentrations within a very narrow range (2–30 ppm Co), the regional distribution patterns can be interpreted in terms of the rock types from which the stream sediments originate. Values above 20 ppm Co are associated with serpentinites and other mafic rocks, as well as with a finely dispersed sulphide content in rocks of the Austroalpine crystalline units.

Cr – Chromium: number of analyses: 34,258; number of measurements above quantification limit: 33,984; minimum value: 2 ppm, maximum value: 3,614 ppm.

Very high concentrations (> 250 ppm Cr) correlate with areas dominated by ultramafic rocks, in particular localised occurrences of serpentinite (Rechnitz in Burgenland, Preg-Kraubath and the areas west of Trieben or north of Heiligenblut). Stream sediments within more widespread areas of mafic rocks exhibit slightly lower values (100–250 ppm Cr). The lowest values (< 50 ppm Cr) are found in the Bohemian Massif and the Northern Calcareous Alps,

although the latter contain local anomalies of high Cr content (> 600 ppm Cr) associated with the Gosau Formation. Concentrations in stream sediment of the Molasse zone and Quaternary/Neogene sediment basins rarely exceed 100 ppm Cr.

Cu – Copper: number of analyses: 34,341; number of measurements above quantification limit: 34,064; minimum value: 0.5 ppm, maximum value: 6,400 ppm.

Approximately 75 % of samples throughout Austria contain less than 30 ppm Cu. In some localised areas, higher concentrations (30–120 ppm Cu) are associated with mafic and ultramafic rocks. Anomalies above 120 ppm Cu are connected to chalcopyrite or polysulphide mineralizations (e.g. at Walchen, Großarl, Kleinfragant, Blindis, Jochberg/Kupferplatte or Röhrerbühel). Isolated sample points in the Weinviertel (north of Vienna) and the southern Vienna basin also show concentrations > 120 ppm Cu. However, these are caused by anthropogenic activity, quite possibly viticulture.

F – Fluorine: number of analyses: 4,678; number of measurements above quantification limit: 3,823; minimum value: 50 ppm, maximum value: 16,302 ppm.

Analytical results are not present for the early phases of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps). Only for the more recent sampling campaigns (Vorarlberg, Tyrol, Salzburg, Carinthia, Styria, Burgenland and Vienna) do chemical analyses yielded data of sufficient quality to allow interpretation of regional distribution patterns. Construction of interpolated surface maps was therefore only performed in these areas. Sources of fluorine in Austrian stream sediments have not yet been investigated thoroughly. Possible sources include some rock forming minerals such as mica and amphiboles, leading to elevated concentrations in certain crystalline rocks. Fluorite frequently constitutes an accompanying mineral in (poly-) sulphide mineralizations. High values (> 1,000 ppm F) therefore occur in the vicinity of the Pb-Zn-mineralizations of Drauzug. The maximum concentration (16,302 ppm F) was found directly below the former ore processing site of the mining area Bleiberg-Kreuth. Fluorine is also contained in apatite and other phosphate minerals which could account for elevated background levels in areas of intensive agriculture where phosphate fertilizers are used heavily.

Fe – Iron: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,296; minimum value: 0.01 %, maximum value: 29.14 %.

Despite the ubiquitous use of iron in our civilisation, the regional distribution in Austrian stream sediments mostly reflects the geological/geochemical conditions. This is due to the widespread occurrence of Fe-bearing silicates, sulphides (pyrite, marcasite), oxides and hydroxides. Elevated concentrations (> 6 % Fe) in stream sediments mark the presence of mafic rocks, iron-rich paragneiss or mica schists in catchment areas. Iron carbonate deposits (e.g. the Styrian Erzberg or Hüttenberg) do not stand out within these distribution patterns. Very low values (< 1 % Fe) occur in the Southern and Northern Calcareous Alps.

Ga – Gallium: number of analyses: 34,216; number of measurements above quantification limit: 33,662; minimum value: 0.5 ppm, maximum value: 91 ppm.

The overall range of Ga concentrations in stream sediments is very narrow (5–90 ppm Ga). Within the Central Alps, the highest values occur in the area of polysulphide mineralizations south of Wörgl (> 60 ppm Ga) and west of Hermagor (> 40 ppm Ga). The presence of gallium is possibly connected to sphalerite in those cases. Values above 30 ppm Ga also appear in catchment areas with rock types containing Al-rich feldspars and micas. Noticeably, stream sediments near Pb-Zn-mineralizations in Bleiberg or in the western Tyrolean Alps do not show elevated Ga concentrations. The Southern and Northern Calcareous Alps as well as the Neogene and Quaternary sedimentary basins are characterised by low concentrations (< 16 ppm Ga).

Hg – Mercury: number of analyses: 4,677; number of measurements above quantification limit: 4,497; minimum value: 0.005 ppm, maximum value: 8.7 ppm.

Analytical results are not present for the early phase of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps) and construction of interpolated surface maps was omitted in these areas. For later sampling campaigns, over 99 % of analyses show Hg concentrations below 1 ppm. The distribution of higher values points to geogenic as well as anthropogenic sources. Mercury can be contained in sulphide copper ore (e.g. in the Kitzbühel Alps, Tennengebirge and the eastern Grauwackenzone at Radmer and Mürzzuschlag), leading to 3–8.7 ppm Hg in stream sediments, while cinnabar can be associated with siderite deposits (e.g. 4 ppm Hg in stream sediments at the Styrian Erzberg). The former mercury mining site at Bad Vellach/Kotschnatal in southern Carinthia also shows up as an anomaly (1 ppm Hg). Concerning anthropogenic emitters, the siderite smelting at Donawitz contributes to elevated Hg concentrations (8 ppm Hg) in the stream sediments of Vordernberger Bach. The anthropogenic sources of Hg concentrations in Marchfeld (east of Vienna) and the southern Vienna basin (> 1 ppm Hg) still need to be investigated in detail.

K – Potassium: number of analyses: 33,992; number of measurements above quantification limit: 33,949; minimum value: 0.013 %, maximum value: 7.11 %.

The spatial distribution of K concentrations in Austrian stream sediments directly correlates with the presence, or absence, of rock types containing K-bearing feldspars, micas and clay minerals. Although potassium is also introduced into the environment by humans through the use of fertilisers, the distribution patterns are mainly due to natural background levels. Thus, K concentrations are low (< 1 %) in stream sediments of the Southern and Northern Calcareous Alps, as well as in areas of marbles, calc-mica schists and calcareous phyllites.

La – Lanthanum: number of analyses: 34,306; number of measurements above quantification limit: 34,110; minimum value: 0.5 ppm, maximum value: 6,732 ppm.

As for the element cerium, the occurrence of La is linked to the presence of heavy minerals, in particular monazite and orthite. The physics of heavy minerals transport leads to preferred deposition behind obstacles in the river bed, most notably in the smaller grain size fraction (< 0.04 mm).

With respect to the coarser grain size fraction (< 0.18 mm), high La concentrations (> 400 ppm La) are restricted to samples from the Bohemian Massif, due to the fact that granites and migmatites abundantly contain La-bearing heavy minerals and in situ weathering increases this abundance in stream sediments. The lowest concentrations appear in stream sediments of the Southern and Northern Calcareous Alps (< 12 ppm La), followed by the Neogene and Quaternary sedimentary basins (13–36 ppm La). Sediments in large rivers of the Central Alps show intermediate values (37–102 ppm La).

Li – Lithium: number of analyses: 3,526; number of measurements above quantification limit: 3,423; minimum value: 0.99 ppm, maximum value: 117 ppm.

Analytical results are not present for the early phases of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif, Central Alps and Lower Austria) and construction of interpolated surface maps was omitted in these areas. In the data sets of later sampling campaigns, stream sediments of the Southern and Northern Calcareous Alps show the lowest concentrations (< 16 ppm Li), samples from the Neogene and Quaternary sedimentary basins exhibit intermediate values (16–52 ppm La). Since lithium can substitute potassium, sodium and magnesium in the lattice of feldspars, micas and amphiboles, rock types dominated by these minerals lead to stream sediments with higher Li concentrations. Spodumene-bearing pegmatites in the Austroalpine crystalline units do not manifest themselves in the stream sediment geochemical distribution due to insufficient sampling densities.

Mg – Magnesium: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,268; minimum value: 0.05 %, maximum value: 20.84 %.

Elevated Mg concentrations in stream sediments (> 4 % Mg) indicate dolomitic rocks in the catchment areas of the Southern and Northern Calcareous Alps. Rock suites in Vorarlberg's Molasse and Helvetic zones are also characterised by carbonates and, consequently, by high Mg concentrations in stream sediments. Alternating carbonate and non-carbonate series – as in the Penninic nappes – are traced by alternating Mg concentrations in the stream sediments. Even localised, isolated carbonate occurrences (e.g. Mesozoic of Brenner, carbonates in Radstädter Tauern and the Mesozoic east of Krappfeld) can be identified in regional stream sediment geochemical patterns. Sediments of rivers originating in the Northern and Southern Calcareous Alps, such as the rivers Traun, Alm, Steyr, Ybbs, Traisen, Triesting or Piesting, keep a carbonate matrix along their course until they join the next larger river. In non-carbonate, crystalline units, mafic rocks with abundant Mg-bearing minerals, such as amphiboles, pyroxenes, micas, or clay minerals, lead to stream sediments with slightly elevated Mg concentrations (> 1.7 % Mg).

Mn – Manganese: number of analyses: 34,303; number of measurements above quantification limit: 34,044; minimum value: 0.002 %, maximum value: 2.776 %.

The geochemical nature and distribution of Mn is very similar to that of Fe. Elevated Mn concentrations in stream sediments (0.4–0.6 % Mn) are found near siderite deposits (at Eisenerz and Radmer) or Fe-bearing dolomites (in the Grauwackenzone). Localised anomalies (0.15 % Mn) oc-

cur in the Northern Calcareous Alps in catchment areas containing Mn-rich Jurassic rocks which in former times were mined for Mn (e.g. at Osterhorngruppe or northwest of Lofer).

Mo – Molybdenum: number of analyses: 34,219; number of measurements above quantification limit: 33,002; minimum value: 0.1 ppm, maximum value: 542.1 ppm.

Elevated Mo concentrations in stream sediments are associated with several geogenic sources. Mafic rocks in the Austroalpine crystalline units tend to yield stream sediments with slightly elevated values (2–5 ppm Mo), although this correlation needs to be investigated further. Carbonate rocks in the Northern Calcareous Alps of Upper and Lower Austria as well as of western Tyrol exhibit equally elevated values. Again, further studies are required to substantiate this association. In the vicinity of Pb-Zn-mineralizations in Drauzug, stream sediments contain very high concentrations (> 200 ppm Mo). Carbonate rocks in Drauzug, in the Lienzer Dolomites and the Karawanks give rise to 5–30 ppm Mo in stream sediments. A small anomaly at Kalkkögel near Fulpmes shows values of 40 ppm Mo. Finally, anthropogenic emitters (steel production and processing) exist along the river Mürz which cause values in sediments to rise to 10–40 ppm Mo.

Na – Sodium: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,086; minimum value: 0.004 %, maximum value: 5.04 %.

Since Na is mainly bound to albite and microcline, the spatial distribution of Na concentrations in stream sediments reflects that of crystalline rocks containing these minerals. Elevated values (> 2 % Na) are linked to the presence of granites, granitoids, migmatites and orthogneiss in the respective provenance areas. In Neogene and Quaternary sedimentary basins, stream sediments contain 0.5–1 % Na, while within the Southern and Northern Calcareous Alps values drop to < 0.5 % Na.

Nb – Niobium: number of analyses: 34,256; number of measurements above quantification limit: 33,139; minimum value: 0.5 ppm, maximum value: 243 ppm.

As for the elements cerium and lanthanum, the abundance of heavy minerals reflects Nb concentrations in Austrian stream sediments. Carrier minerals for Nb are mainly rutile and ilmenite. High values (> 30 ppm Nb) occur in the Bohemian Massif and in the Austroalpine crystalline units. In contrast, stream sediments in the Northern and Southern Calcareous Alps exhibit low values (< 10 ppm Nb), while the Flysch zone and the Molasse zone are characterised by 10–20 ppm Nb in stream sediments. In the eastern Styrian basin where sediments are derived from the Central Alps, Nb content in stream sediments ranges between 20 and 30 ppm Nb.

Ni – Nickel: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 33,954; minimum value: 2 ppm, maximum value: 2,471 ppm.

Similarly to chromium, very high concentrations (> 500 ppm Ni) correlate with areas dominated by ultramafic rocks, in particular localised occurrences of serpentinite (Rettenbach/Redlschlag in Burgenland, Preg-Kraubath, the areas west of Trieben or north of Heiligenblut). Stream sediments within more widespread areas of mafic rocks

exhibit slightly lower values (50–200 ppm Ni). Small anomalies with elevated concentrations (> 250 ppm Ni) in the Northern Calcareous Alps are linked to Cretaceous sedimentary rocks (Gosau Formation) which contain chromite.

P – Phosphorus: number of analyses: 34,303; number of measurements above quantification limit: 33,059; minimum value: 0.004 %, maximum value: 1.444 %.

Within crystalline rocks, phosphorus is contained in heavy minerals such as apatite, monazite and xenotime. Stream sediments in the Bohemian Massif therefore contain P in high concentrations (> 0.2 % P). Phosphorus is also contained as a trace element in amphiboles, pyroxenes, micas and feldspars which may explain elevated concentrations in certain stream sediments in the Central Alps (> 0.15 % P). However, rock geochemical data are needed to identify the rock types responsible for these stream sediment geochemical distribution patterns. High P concentrations (> 0.2 % P) also occur in areas of intensive agriculture (e.g. Weinviertel, Marchfeld and the southern Vienna basin) and result from the use of fertilisers.

Pb – Lead: number of analyses: 34,217; number of measurements above quantification limit: 34,198; minimum value: 3 ppm, maximum value: 11,662 ppm.

High Pb concentrations in stream sediments (300–11,600 ppm Pb) appear near polysulphide (and in particular Pb-Zn-) mineralizations. Among the former are the mineralizations at Walchen, Schladminger Tauern, in Kreuzeckgruppe and the Kitzbühel Alps, among the latter, deposits in the Paleozoic of Graz, in Drauzug, in the Karawanks, and in the western part of the Northern Calcareous Alps in Tyrol. At Sonnblickgruppe, galena mineralization in veins leads to slightly elevated levels (90 ppm Pb) in stream sediments. Except for these anomalies, lead contained as a trace element in feldspars results in low natural background levels (< 50 ppm Pb) in stream sediments. Anthropogenic contamination causes elevated levels in the southern Vienna basin (80–800 ppm Pb).

Rb – Rubidium: number of analyses: 34,039; number of measurements above quantification limit: 33,934; minimum value: 4 ppm, maximum value: 597 ppm.

Concentrations of Rb in stream sediments correlate closely with those of K since rubidium, just like potassium, is contained in feldspars and, to a lesser degree, in micas. Values are low (< 50 ppm Rb) in stream sediments of the Southern and Northern Calcareous Alps while in the Flysch zone and the Neogene and Quaternary sedimentary basins values range between 50 and 100 ppm Rb. Crystalline rocks in the Bohemian Massif and the Central Alps give rise to elevated values (100–590 ppm Rb) in stream sediments.

S – Sulfur: number of analyses: 4,678; number of measurements above quantification limit: 4,327; minimum value: 13 ppm, maximum value: 110,365 ppm.

Analytical results are not present for the early phases of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps). Only for the more recent sampling campaigns (Vorarlberg, Tyrol, Salzburg, Carinthia, Styria, Burgenland and Vienna) did chemical analyses yield data of sufficient quality to allow interpretation of regional distribution patterns. Construction of interpolated surface

maps was therefore only performed in these areas. Natural sources for high S concentrations (> 1,000 ppm S) in stream sediments are on one hand sulphides associated with polysulphide mineralizations or finely dispersed pyrite, and on the other hand sulphates in gypsum/anhydrite deposits in the Northern Calcareous Alps. In Burgenland and northern Vorarlberg many samples show elevated values (2,500–7,500 ppm S) which could be caused by anthropogenic activities.

Sb – Antimony: number of analyses: 34,366; number of measurements above quantification limit: 6,382; minimum value: 0.025 ppm, maximum value: 180 ppm.

90 % of analytical results show Sb concentrations below the quantification limit. Therefore, no interpolated surface map was constructed. Values exceeding 8 ppm Sb in stream sediments (only 1 % of data) can be ascribed to stibnite deposits (at Schlaining, Obertilliach, Rabant or Falggasanerbachtal) or to polysulphide mineralizations containing Sb-bearing sulphide copper ore.

Sc – Scandium: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,252; minimum value: 0.1 ppm, maximum value: 77 ppm.

Scandium is contained as a trace element in amphiboles, pyroxenes and biotite, and therefore associated with mafic rocks. Stream sediments originating from these rocks display concentrations of > 30 ppm Sc. Other crystalline rocks in the Austroalpine and Sub-Penninic nappes give rise to 15–30 ppm Sc in stream sediments. While samples from the Southern and Northern Calcareous Alps show the lowest values (< 5 ppm Sc), stream sediments from the Neogene and Quaternary sedimentary basins contain 5 to 15 ppm Sc.

Se – Selenium: number of analyses: 4,678; number of measurements above quantification limit: 4,375; minimum value: 0.025 ppm, maximum value: 22.1 ppm.

No data exist for the first phase of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps) and construction of interpolated surface maps was omitted in these areas. Results from later sampling campaigns show Se concentrations ranging from 0.02 to 22 ppm Se. The spatial distribution of these values does not reveal any clear correlation with rock types or mineralizations. Elevated values (> 1.5 ppm) occur mainly in areas of intensive agriculture which could indicate a connection with fertiliser usage or other anthropogenic inputs.

Si – Silicon: number of analyses: 4,678; number of measurements above quantification limit: 4,678; minimum value: 0.09 %, maximum value: 39.36 %.

No data exist for the first phase of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps). Results from later sampling campaigns show Si as the most abundant of all elements in stream sediments (up to 39 % Si). This is due to the fact that, except for carbonate areas, quartz constitutes the most common mineral. The spatial distribution shows the reciprocal patterns of calcium, i.e. low concentrations (< 15 % Si) in stream sediments from the Southern and Northern Calcareous Alps and high values (> 25 % Si) in samples from the Neogene and Quaternary sedimentary basins.

Sn – Tin: number of analyses: 34,219; number of measurements above quantification limit: 33,254; minimum value: 0.4 ppm, maximum value: 285 ppm.

Within the Bohemian Massif, high Sn concentrations (> 20 ppm Sn) in stream sediments are associated with greisen formation, i.e. hydrothermal alterations of granite intrusions in the northern Weinviertel. Spatial distribution patterns in stream sediments from crystalline rocks of the Austroalpine and Sub-Penninic nappes are not easily explained and will require additional rock geochemical data for interpretation. Isolated occurrences of small anomalies (> 20 ppm Sn) along major rivers (e.g. in the southern Vienna basin) may be the result of anthropogenic inputs.

Sr – Strontium: number of analyses: 34,304; number of measurements above quantification limit: 34,278; minimum value: 10 ppm, maximum value: 8,695 ppm.

Strontium appears as a trace element in calcite, gypsum and feldspars. High concentrations (> 500 ppm Sr) in stream sediments therefore occur in carbonate areas, even higher values (> 750 ppm Sr) are reached near gypsum/anhydrite deposits (e.g. Klostertal/Montafon, Grundlsee and western Drauzug). Moreover, some Austroalpine crystalline units give rise to elevated Sr concentrations (200–500 ppm Sr) in stream sediments if these units contain limestone or marble or rock types with Sr-bearing feldspars and mica.

Th – Thorium: number of analyses: 34,039; number of measurements above quantification limit: 21,441; minimum value: 2 ppm, maximum value: 1,919 ppm.

Since geogenic Th is mainly contained in heavy minerals, it correlates with cerium and lanthanum and elevated concentrations (30–150 ppm Th) in stream sediments are linked to catchments consisting of granites, granitoids and migmatites within the Bohemian Massif. In some granite areas, small anomalies even show concentrations of 150–650 ppm Th. In stream sediments of the Central Alps, generally low background values (< 25 ppm Th) are present and only occasionally do values reach 70 ppm Th.

Ti – Titanium: number of analyses: 34,341; number of measurements above quantification limit: 34,217; minimum value: 0.002 %, maximum value: 7.582 %.

This element is contained in rutile and titanite and as a trace element in amphiboles, pyroxenes and mica and therefore associated with mafic rocks. Consequently, elevated concentrations (1 %, occasionally even 2 % Ti) in stream sediments occur in catchment areas dominated by these rock types. Very low values (< 0.5 % Ti) are found in the Flysch zone, the Helvetic zone and the Southern and Northern Calcareous Alps. Equally low values occur in stream sediments originating from carbonate rocks in Engadin, Hohe Tauern and the Paleozoic of Graz.

U – Uranium: number of analyses: 34,042; number of measurements above quantification limit: 12,192; minimum value: 0.1 ppm, maximum value: 172 ppm.

75 % of uranium measurements of the first phase of the Austrian stream sediment programme (Bohemian Massif and Central Alps) fall below the quantification limit of that time (5 ppm U). Values are not comparable to data from subsequent sampling campaigns and interpolation

between data points was therefore not performed. Uranium is mainly associated with the heavy minerals xenotime, monazite and zircon. Elevated concentrations (up to 19 ppm U) in stream sediments in orthogneiss-dominated regions of the Austroalpine basement (in particular the Silvretta-Seckau and Ötztal-Bundschuh nappe systems). Within the Sub-Penninic nappes, local mineralizations in the central gneiss can give rise to high concentrations (up to 80 ppm U) in stream sediments. “Permoskythian” clastic rocks in the eastern Grauwackenzone also represent sources of uranium, yielding stream sediments with up to 20 ppm U. Finally, bituminous intercalations in the Hauptdolomit and its equivalent in the Gailtal Alps can cause elevated concentrations (up to 13 ppm U). Among the known uranium deposits, only the one in Forstau is manifested by elevated uranium concentrations in stream sediments (15 ppm U).

V – Vanadium: number of analyses: 34,306; number of measurements above quantification limit: 34,200; minimum value: 0.5 ppm, maximum value: 927 ppm.

This element occurs as a trace element in amphiboles, pyroxenes and mica and is therefore associated with mafic and ultramafic rocks. The spatial distribution of vanadium concentrations in stream sediments shows elevated values (90–150 ppm V) correlating with the occurrence of mafic rock types, and even higher values (> 200 ppm V) in catchment areas dominated by ultramafic rocks. Neogene sediments in the Northern Weinviertel or in the Styrian basin are derived from these rock types and therefore give rise to equally elevated values (up to 150 ppm V) in stream sediments. In the Southern and Northern Calcareous Alps as well as in carbonate areas within Austroalpine crystalline units, stream sediments contain low concentrations (< 50 ppm V).

W – Tungsten: number of analyses: 34,042; number of measurements above quantification limit: 15,567; minimum value: 0.1 ppm, maximum value: 2,693 ppm.

This element is predominantly contained in scheelite. If stream sediment samples are collected at places within the current where this mineral is particularly accumulated due to its high specific weight, the tungsten content can be overestimated. This is the case in the Austroalpine crystalline units and the Sub-Penninic nappes, where isolated anomalies with very high concentrations (> 70 ppm W) and areas with values below the quantification limit (1 ppm W) are juxtaposed. Furthermore, in areas sampled more recently no plausible spatial distribution was found. Therefore, no interpolated surface map of tungsten concentrations in stream sediments was constructed.

Y – Yttrium: number of analyses: 34,039; number of measurements above quantification limit: 33,019; minimum value: 4 ppm, maximum value: 2,055 ppm.

The occurrence of yttrium is linked to the presence of heavy minerals, in particular xenotime. The physics of heavy minerals transport leads to preferred deposition behind obstacles in the river bed, most notably in the smaller grain size fraction (< 0.04 mm). With respect to the coarser grain size fraction (< 0.18 mm), high yttrium concentrations (> 170 ppm Y) are restricted to samples from the Bohemian Massif, due to the fact that granites and migmatites abundantly contain Y-bearing heavy minerals and in situ

weathering increases this abundance in stream sediments. The lowest concentrations appear in stream sediments of the Southern and Northern Calcareous Alps (< 20 ppm Y), followed by the Molasse zone and intramontane basins (20–40 ppm Y). Sediments in large rivers of the Central Alps also show these values. In the Weinviertel and certain regions of the Upper Austrian Molasse Zone, where Neogene sediments are derived from the Bohemian Massif, concentrations can exceed 40 ppm Y in stream sediments.

Zn – Zinc: number of analyses: 34,340; number of measurements above quantification limit: 34,225; minimum value: 5 ppm, maximum value: 25,468 ppm.

Crystalline rocks of the Austroalpine nappes and the Bohemian Massif yield stream sediments containing very low concentrations (< 140 ppm Zn). Small areas with elevated values (up to 800 ppm Zn) are associated with sulphide deposits or Zn-bearing amphiboles, pyroxenes, micas or garnets in the catchments areas. Very high Zn concentrations in stream sediments appear in the vicinity of Pb-Zn-mineralizations in the Paleozoic of Graz (Frohnleiten – 4,200 ppm Zn), the Northern Calcareous Alps (Annaberg/Türnitz – 1,680 ppm Zn), in Drauzug (Bleiberg/Kreuth – 25,500 ppm Zn), in the Karawanks (2,600 ppm Zn) and the western part of the Northern Calcareous Alps in Tyrol (2,400 ppm Zn). Anthropogenic emission from industrial sites causes high values (up to 2,400 ppm Zn) in sediments of the rivers Ager, Traun and Traisen, as well as in stream sediments within Marchfeld and south of Vienna (up to 1,400 ppm Zn). Smelting and metal processing near Arnoldstein also affects Zn content in stream sediments (13,500 ppm Zn).

Zr – Zirconium: number of analyses: 34,039; number of measurements above quantification limit: 33,953; minimum value: 10 ppm, maximum value: 9,820 ppm.

The occurrence of Zr is linked to the presence of heavy minerals, in particular zircon. The physics of heavy minerals transport leads to preferred deposition behind obstacles in the river bed, most notably in the smaller grain size fraction (< 0.04 mm). With respect to the coarser grain size fraction (< 0.18 mm), high Zr concentrations (> 750 ppm Zr) are restricted to samples from the Bohemian Massif, due to the fact that granites and migmatites abundantly contain Zr-bearing heavy minerals and in situ weathering increases this abundance in stream sediments. The lowest concentrations appear in stream sediments of the Southern and Northern Calcareous Alps (< 100 ppm Zr), followed by slightly higher values in the Molasse zone and in intramontane basins (100–400 ppm Zr, occasionally rising to 3,000 ppm Zr). Sediments in large rivers of the Central Alps also show these slightly higher values.

Results and discussion of accompanying measurements and analyses

During the second phase of the Austrian stream sediment geochemistry programme, measurements of temperature, electrical conductivity, pH and redox potential in the stream and in the water-saturated sample accompanied the sampling. The data can be used to check whether stream and sediment were interacting, or were uncoupled, at the time of sampling. In the latter case, readings in the stream and the sediment of e.g. pH or redox potential dif-

fer significantly, indicating that the sample does not represent active sediment but material deposited during the last flood event. Analytical results in this case still reflect the chemical make-up of the provenance area but the potential of contaminant emission can be modified due to rapid changes of pH and redox potential during flooding. Particularly in the Upper Austrian Molasse zone, the Weinviertel and the Vienna basin, this uncoupling occurs in many rivers and leads to negative values of redox potential in the sediment while the stream water shows positive values.

Despite variable weather conditions during sampling, the spatial distribution of electrical conductivity coincides with known trends in surface water hydrochemistry. A low degree of mineralization, or a small value of electrical conductivity (< 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$), is typical for stream waters in the Central Alps, slightly more elevated values (250–400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) appear in the Southern and Northern Calcareous Alps. The Upper Austrian Molasse zone and the Styrian Neogene basin exhibit yet higher values (400–900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) while the highest degrees of mineralization exist in Weinviertel and Northern Burgenland (900–3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Applications of results

The present publication constitutes a documentation of the Austrian stream sediment geochemistry programme, including project organisation, sampling and analytical methods, and presentation of the data which resulted from this programme. The data can now serve for further environmental or geochemical studies. It can be combined with other data sets, e.g. soil geochemistry, hydrochemistry or mineralogical analyses to study the source and fate of chemicals in the environment. Future statistical or regional analyses of the data can assist in discriminating between natural occurrences of elements and human-induced contamination. The following paragraphs summarise five examples of data applications in the field of environmental geochemistry, described in detail in chapters 7.1–7.5.

Chapter 7.1 presents a discussion of several methods to estimate litho-geochemistry and derive natural background levels from stream sediment data. Methods of constructing surface maps of element concentrations through interpolation between sampling points are shown to be useful for visualising regional trends but not for quantifying element concentrations of specific rock types in the catchment areas. The GIS method of spatially joining sampling points to polygons on digital geological maps is shown here to be an easy way to link stream sediment data to rock units, but this method will yield correct results only where catchment areas are composed entirely of the rock type identified by the point-polygon superposition. The best results are shown to be gained when catchment areas are delimited for each sampling point through the use of GIS and only lithologically homogeneous areas are used for attributing stream sediment geochemistry to rock types. This method yields adequate estimates of whole rock geochemistry and is, in the absence of anomalies due for example to mineral deposits or anthropogenic contamination, well suited to deriving natural background levels. As an application of this method, examples are given from Carinthia (SCHEDL et al., 2008) and Styria (SCHEDL et al., 2010b).

Chapter 7.2 gives an example of multivariate logratio statistics performed on a subset of stream sediment geochemical data in the Weinsberg granite area of the Bohemian Massif. Variability of element logratios is shown to reflect changes in the chemical composition due to weathering, transportation and sedimentation processes. K-feldspars appear to better withstand chemical weathering since Al to K logratios show very small variability among all samples (variance of $\ln(\text{Al}/\text{K})$: 0.044). In contrast, plagioclase is less resistant to weathering and Ca to K logratios vary widely (variance of $\ln(\text{Ca}/\text{K})$: 0.409). Subsequently, robust principal component analysis (PCA) of compositional data was performed on main and trace element concentrations and presented using compositional biplots. Among the main elements, principle components were dominated by K, Al, Mg and Ti, while among the trace elements Ce, La and Zr represent dominant vectors on the biplot. The latter three elements also emerged when PCA was performed on all elements combined. This was interpreted as an indication that the concentrations of these trace elements result more from transport and sedimentation processes than from the mineral composition of the parent rock. Finally, principal component scores were imported into a GIS and plotted as point symbol maps. Within the distribution of the second principle component of main element PCA, a regional pattern appears whereby negative factor loadings (low Mg concentrations) are concentrated in the central part of the Weinsberg granite area where relief energy is high.

Chapter 7.3 presents examples from studies which combined stream sediment data with data from soil monitoring programmes, hydrochemical analyses of stream and spring waters and whole rock geochemistry to develop models for element exchange between rocks, soils and groundwater. One such study (PIRKL, 1993) combined soil geochemistry, stream sediment geochemistry and hydrochemical data to reveal transfer pathways of chromium in Krappfeld (Carinthia) where naturally elevated Cr concentrations were overprinted by emissions from a metal recycling plant. Micro-chemical – mineralogical phase analysis of chromium minerals allowed the differentiation of geogenic and anthropogenic sources. A second study (PIRKL, 1999) identified specific element fluxes between the atmosphere, vegetation, soil, aquifer and spring water in an area of the Northern Calcareous Alps, resulting in a qualitative model of the main transfer pathways. With respect to heavy metals, Pb and Cd were shown to be introduced into the soil at least partly through atmospheric deposition, while transfer into the groundwater was demonstrated for Pb, Cd, Cr, Cu and Ni. A third study (NEINAVAIE et al., 2001) focussed on the sources and transfer of heavy metals in the area of an abandoned mining site in the Kitzbühel Alps. Due to natural mineralization, the elements Ag, As, Cu, Hg, Ni, Sb and Zn are highly concentrated in this area.

While As and Cu were shown to resist weathering, Hg, Ni, Sb and Zn dissolve easily and end up contaminating the soils and groundwater. Milk and cheese derived from cows grazing on contaminated soils are however not affected. Finally, a nation-wide study on mine waste (SCHEDL et al., 2012) combined mining and mine waste data with environmental geochemistry data, and issued a list of heavy metal emission risks for specific abandoned mining areas in Austria.

Chapter 7.4 compares spatial distribution patterns of element concentrations in the stream sediments, overbank sediments and soils of Carinthia and Styria. In data from the Carinthian soil inventory, high lead content (> 120 ppm Pb) in soils appears in approximately the same areas as anomalies in stream sediments, and are either locally associated with former mining areas or situated along river valleys downstream of mining areas. Additional sampling and chemical analyses of overbank sediments along the rivers Gailitz, Gail and Drau corroborate these patterns. Even though these data are derived from different material using different analytical methods, the emerging regional patterns still coincide to a great extent. Regarding the Styrian soil inventory, data of cadmium concentration in soils display the same spatial distributions as those of stream sediments, concerning areas of low values (in the Central Alps) as well as local anomalies with elevated values (e.g. near Pb-Zn-mineralizations of the Paleozoic of Graz and in regions of the Northern Calcareous Alps).

Chapter 7.5 presents micro-chemical – mineralogical phase analyses of the heavy mineral fraction of stream sediments to pinpoint the source minerals of e.g. tungsten, but also analyses of soil or dust samples to distinguish between geogenic and anthropogenic sources of trace elements. Using incident and transmitted light microscopy as well as microprobe and reflection electron microscope, these analyses can assess trace element concentration and mobility. In addition to purely geochemical investigations, they are applied in environmental studies around industrial sites, assessments of old waste sites, risk evaluation of mine waste sites and for the identification of emitters. A digital atlas of mineral phases has been published (NEINAVAIE et al., 2008) which contains 546 geogenic and technogenic mineral phases documented by 4,729 photos. Chapter 7.5 gives examples of mineral phase analyses of stream sediment samples which prove particle emissions of the iron and steel industry along the rivers Mürz and Mur in Styria, or near Hüttenberg and Friesach-Olsa in Carinthia. Typical particles represent sinter, slag or cast iron particles, or globular particles from high-temperature applications. Other particles originate from coal-fired power stations, glass production plants, sinter plants or cement factories as emission sources. A compilation of mineral phases and their possible trace element content, published previously by PIRKL & NEINAVAIE (2002), is given.

9. Literaturverzeichnis

9.1 Verwendete Literatur

- AITCHISON, J. (1986): *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Monographs on Statistics and Applied Probability. – 416 S., London (Chapman & Hall).
- AITCHISON, J. (2003): *The Statistical Analysis of Compositional Data*. – 416 S., Caldwell (Blackburn Press).
- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (1999): *Bodenzustandsinventur Kärnten 1999*. – 553 S., Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 – Umweltschutz und Technik, Klagenfurt.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1998): *Bodenzustandsinventur der Steiermark (4 x 4 km-Raster)*. – Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1998. – 149 S., Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Graz.
- APPLETON, J.D., RAWLINS, B.G. & THORNTON, I. (2008): *National-scale estimation of potentially harmful element ambient background concentrations in topsoil using parent material classified soil:stream-sediment relationships*. – *Applied Geochemistry*, **23**/9, 2596–2611, Amsterdam
- ATZENHOFER, B., LIPIARSKI, P., REITNER, H., PFLEIDERER, S. & HEINRICH, M. (2009): *Rohstoffarchiv EDV – Grundlagen und Dokumentation – Rohstoffarchiv GIS – Auswertung und Darstellung*. – Unveröff. Projektbericht Geol. B.-A. ÜLG-32/33, 200 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & HOLNSTEINER, R. (1997): *Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flußsedimente Niederösterreichs*. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-U-015-F/94, 60 S., 5 Beilagenbände, Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K., HOLNSTEINER, R., PIRKL, H. & NEINAVAI, E. (1998): *Umweltgeochemie der Flußsedimente Oberösterreichs*. – Unveröff. Ber. ÖFPZ Arsenal, 50 S., Wien.
- BERKA, R. (2000): *Die Stellung der Traibachschiefer im Semmering-Wechsel System*. – Unveröff. Dipl. Arb. Univ. Wien, 133 S., Wien.
- BLUM, W.E.H., BRANDSTETTER, A., JOCKWER, F., RIEDLER, C., SÄTTLER, H. & WENZEL, W.W. (1994): *Bodendauerbeobachtung. Vergleich von Konzepten zur Bodendauerbeobachtung auf nationaler und internationaler Ebene*. – UBA Ber., **BE-018**, 9 S., Wien.
- BØLVIKEN, B., BOGEN, J., DEMETRIADES, A., DE VOS, W., EBBING, J., HINDEL, R., LANGEDAL, M., LOCUTURA, J., O'CONNOR, P., OTTESEN, R.T., PULKKINEN, E., SALMINEN, R., SCHERMANN, O., SWENNEN, R., VAN DER SLUYS, J. & VOLDEN, T. (1996): *Regional geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000*. – *Journal of Geochemical Exploration*, **56**, 141–166, Amsterdam.
- BOOGAART, K.G. VAN DEN, TOLOSANA, R. & BREN, M. (2015): *compositions: Compositional Data Analysis, R-Softwarepaket*.
- BREITER, K. (2010): *Geochemical classification of Variscan Granitoids in the Moldanubicum (Czech Republic, Austria)*. – *Abh. Geol. B.-A.*, **65**, 19–25, Wien.
- BUCCIANTI, A., MATEU-FIGUERAS, G. & PAWLOWSKY-GLAHN, V. (2006): *Compositional Data Analysis in the Geosciences – From Theory to Practice*. – *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, **264**, 212 S., London.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR HANDEL, GEWERBE UND INDUSTRIE (1981): *Konzept für die Versorgung Österreichs mit Mineralischen Roh- und Grundstoffen*. – 93 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG (1973): *Konzept für die geowissenschaftliche und geotechnische Forschung in Österreich*. – 48 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG (1981): *Konzept für Rohstoffforschung in Österreich. Teil I Allgemeine Überlegungen, Teil II Mineralische Rohstoffe und Wasser*. – 94 S., Wien.
- DARNLEY, A.G. (1997): *A global geochemical reference network: the foundation for geochemical baselines*. – In: MARSINA, K. & VRANA, K. (Ed.): *Environmental Geochemical Baseline Mapping in Europe*. – *J. Geoch. Explor., Special Issue*, **60**, 1–5, Amsterdam.
- DARNLEY, A.G., BJORKLUND, A., BØLVIKEN, B., GUSTAVSSON, N., KOVAL, P.V., PLANT, J.A., STEINFELT, A., TAUCHID, M., XUEJING, X., GARRETT, R.G. & HALL, G.E.M. (1995): *A global geochemical database for environmental and resource management. – Final report of IGCP Project 259 Earth Sciences*, **19**, 122 S., Paris.
- DAVIS, J.C., HAUSBERGER, G., SCHERMANN, O. & BOHLING, G. (1995): *Adjusting Stream-Sediment Geochemical Maps in the Austrian Bohemian Massif by Analysis of Variance*. – *Mathematical Geology*, **27**/2, 279–299, New York.
- DE VOS, W. & TARVAINEN, T. (Eds.) (2006): *Geochemical Atlas of Europe. Part 2: Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications*. – 690 S., Geological Survey of Finland, Espoo.
- DEMETRIADES, A., OTTESEN, R.T. & LOCUTURA, J. (Eds.) (1990): *Geochemical mapping of Western Europe towards the Year 2000 – Pilot Project Report: Western European Geological Surveys, Geological Survey of Norway, Open File Report 90–105*, 9 S., Trondheim.
- DRAGANITS, E. (1996): *Kristallineologische Neubearbeitung des südlichen Ödenburger Gebirges, Burgenland (Österreich)*. – Unveröff. Dipl. Arb. Univ. Wien, 150 S., Wien.
- EGOZCUE, J.J., PAWLOWSKY-GLAHN, V., MATEU-FIGUERAS, G. & BARCELÓ-VIDAL, C. (2003): *Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis*. – *Mathematical Geology*, **35**/3, 279–300, New York (USA).
- ELLENBERG, H., MAYER, R. & SCHAUERMANN, J. (1986): *Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966–1986*. – 507 S., Stuttgart.
- FILZMOSER, P. (2015): *StatDA. Statistical Analysis for Environmental Data, R-Softwarepaket*.
- FILZMOSER, P., GARRETT, R.G. & REIMANN, C. (2005): *Multivariate outlier detection in exploration geochemistry*. – *Computers & Geosciences*, **31**, 579–587, Oxford.
- FILZMOSER, P., HRON, K. & REIMANN, C. (2009): *Principal component analysis compositional data with outliers*. – *Environmetrics*, **20**, 621–632, Chichester (John Wiley & Sons).
- FINGER, F. & HAUNSCHMID, B. (1988): *Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als Methode zur Klärung der Intrusionsfolge in Granitgebieten – eine Studie im nordöstlichen oberösterreichischen Moldanubikum*. – *Jb. Geol. B.-A.*, **131**, 255–266, Wien.
- FINGER, F. & HÖCK, V. (1986): *Zur magmatischen Entwicklung des Moldanubikums in Oberösterreich*. – *Jb. Geol. B.-A.*, **129**, 641–642, Wien.
- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN (1992a): *Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Ergebnisse; Waldbodenbericht*. – *Mitt. FBVA Wien*, **168**/1, 144 S., Wien.

- FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN (1992b): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Ergebnisse; Waldbodenbericht. – Mitt. FBVA Wien, **168/2**, 145–247, Wien.
- FRASL, G. & FINGER, F. (1991): Geologisch-petrographische Exkursion in den österreichischen Teil des Südböhmischen Batholiths. – In: ALTHAUS, E. (Red.): Exkursionsführer: Gemeinschaftstagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft und Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft. – Beih. European Journal of Mineralogy, **3/2**, 23–40, Stuttgart.
- GERDES, A. (2001): Magma homogenization during anatexis, ascent and/or emplacement? Constraints from the Variscan Weinsberg Granites. – Terra Nova, **13/4**, 305–312, London (Blackwell Science).
- GLATZEL, G., KAZDA, M., KATZENSTEINER, K., KÜHNERT, M. & MARKART, G. (1987): Schadstoffdeposition in österreichischen Waldökosystemen – Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Bericht 1987, 49–68, BMWF, Wien.
- GLATZEL, G., KATZENSTEINER, K., KAZDA, M., KÜHNERT, M., MARKART, G. & STÖHR, G. (1988): Eintrag atmosphärischer Spurenstoffe in österreichische Wälder; Ergebnisse aus vier Jahren Depositionsforschung. – Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Symposium 1988, 60–72, BMWF, Wien.
- GÖD, R. & HEISS, G. (1996): Die Arsenanomalie Feistritz am Wechsel. – Jb. Geol. B.-A., **139**, 437–444, Wien.
- GOVETT, G.J.S. (1983): Rock Geochemistry in Mineral Exploration. – In: GOVETT, G.J.S. (Ed.): Handbook of Exploration Geochemistry, **3**, 461 S., Amsterdam–Oxford–New York.
- GZÜV (2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern (Gewässerzustandsüberwachungsverordnung – GZÜV). – BGBl. I Nr. 123/2006, 60 S., Wien.
- HEINRICH, M., BRÜGGEMANN, H., DECKER, K., KLEIN, P., KOČIU, A., KÖLLMANN, W., LIPIARSKI, P., PAVLIK, W., PIRKL, H. & WIMMER, H. (1995): Wasserhöffigkeit und Wasserqualität sowie deren langfristige Sicherung in kalkalpinen Einzugsgebieten am Beispiel eines N-S-Streifens in den niederösterreichischen Kalkalpen zwischen Ybbsitz und Göstling. Bericht für das 3. Arbeitsjahr. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 264 S., Wien.
- JENKS, C.F. (1977): Optimal data classification for choropleth maps. – Dept. of Geography, University of Kansas, Lawrence, Occasional Paper No. **2**, 25 S., Kansas.
- KLEIN, P., PIRKL, H., NEINAVAI, H., SCHEDL, A. & ATZENHOFER, B. (2005): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Fluss-Sedimente Vorarlbergs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Vorarlbergs“). – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt VA-19, 97 S., Wien.
- KLEIN, P., PIRKL, H., SCHEDL, A., HASLINGER, E., LIPIARSKI, P. & NEINAVAI, H. (2006): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Kärnten“). Projekt KC-30. – Unveröff. Jahresber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-30, 11 S., Wien.
- KLEIN, P., SCHEDL, A., PIRKL, H., HASLINGER, E., LIPIARSKI, P., NEINAVAI, H. & ATZENHOFER, B. (2007): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Kärnten“). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund-Bundesländer Rohstoffprojekt K-C-030, 97 S., Wien.
- KLEIN, P., PIRKL, H., FRÖSCHL, H., SCHEDL, A. & WIMMER, B. (2008): Abschluss der umweltgeochemischen Untersuchung der Bach- und Fluss-Sedimente Burgenlands auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen (Sedimentfraktion < 40 µm und Gesamtdokumentation). – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt B-C-017/2007, 90 S., Wien.
- KRALIK, M. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1994): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Niederösterreichs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener oder anthropogener Schadstoffbelastungen. – Unveröff. Ber. BFPZ, Bund/Bundesländer-Projekt N-U-015/91, 23 S., Wien.
- KURAT, G. (1965): Der Weinsberger Granit im südlichen österreichischen Moldanubikum. – TMPM, III.F., **6**, 202–227, Wien.
- LI, Y.H. (2000): A Compendium of Geochemistry. Elemental Composition Changes from Solar Nebula to the Human Brain. – 475 S., Princeton.
- LIEW, T.C., FINGER, F. & HÖCK, V. (1989): The Moldanubian granitoid plutons of Austria: Chemical and isotopic studies bearing on their environmental setting. – Chem. Geol., **76**, 41–55, Amsterdam.
- LINNER, M., FINGER, F. & REITER, E. (2011): Moldanubikum (Kristallin der Böhmischen Masse). – In: RUPP, C., LINNER, M. & MANDL, G.W. (Red.): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Oberösterreich 1:200.000, 29–50, Geol. B.-A., Wien.
- LIPIARSKI, P., REITNER, H. & HEINRICH, M. (2007): Rohstoffarchiv EDV – Grundlagen und Dokumentation – Rohstoffarchiv GIS – Auswertung und Darstellung. – Unveröff. Projektbericht Geol. B.-A. ÜLG-32/33, 213 S., Wien.
- MATSCHULLAT, J., OTTENSTEIN, R. & REIMANN, C. (2000): Geochemical background – can we calculate it? – Environmental Geology, **39/9**, 990–1000, Heidelberg.
- MEYER, W.T., THEOBALD, P.K. & BLOOM, H. (1979): Stream sediment geochemistry. – In: HOOD, P.J. (Ed.): Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores. – Geological Survey of Canada Economic Geology Report, **31**, 411–434, Ottawa.
- MÜLLER, H.W. & SCHWAIGHOFER, B. (1990): Schwermetallgehalte in Sedimenten der Fließgewässer. – In: HONSIG-ERLENBURG, W., POLZER, E. & TRAEGER, K. (Hrsg.): Kärntner Fließgewässergüteatlas, Stand 1987/89, 133–156, Amt d. Kärnt. Landesreg./BMLF, Klagenfurt.
- NEINAVAI, H. (1986): Systematische Wolframprospektion in der Zentralzone der Ostalpen. Zwischenbericht 1978–1984. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 16 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1988): Testweise Mikrosondenuntersuchungen an Ti-haltigen Schwermineralphasen im Gebiet Brückl/Wandelitzen in Hinblick auf begleitende Sonderelemente. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 6 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1989): Anomale Elementanreicherungen in Bodenproben im Raum Leoben-Trofaia-St. Michael-Kraubath. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 3 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1990): Mineralphasen-Untersuchungen (Bohrung H3) (Altlastenerhebung Stahlwerkdeponie Judenburg). – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 74 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1991a): Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen. Bodenprobe Nr. 66 – Arnoldstein, Umweltbundesamt. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 7 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1991b): Mineralphasenuntersuchungen an Sinterproben – Donawitz. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 5 S., Eisenerz.

- NEINAVAI, H. (1991c): Mineralphasenuntersuchungen an Konverterschlacke zur Klärung des Zink- und Bleigehaltes (Linz). – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 12 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1992): Mineralphasenuntersuchungen an Bleischlacke, pelletiertem Flugstaub sowie magnetischer Fraktion von Bodenproben aus dem Gebiet Zerjav/Slowenien. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 15 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1993): Verifizierung der anomalen Schwermetallgehalte in Boden- und Gesteinsproben an ausgewählten Proben – Projekt Alpe-Adria 1990. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 26 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1994a): Mineralogisch-phasenanalytische Bearbeitung von ausgewählten Bodenprobenpunkten und Haldenmaterialien als Instrument kausalanalytischer Bewertung von Schwermetallgehalten und deren Zuordnung zu ihren Emissionsquellen. Teilbericht zu Forschungsprojekt „Bodengeochemie zur Bodenzustandserhebung – Umweltbestandsaufnahme im Gebiet des Voitsberger-Köflacher Beckens“. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-U-024, 47 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1994b): Mineralphasenuntersuchung als Werkzeug für gezielte Ansprache und Bewertung geogener und technogener Schwermetallverteilungen. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 27 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1995a): Mineralphasenuntersuchungen in Auflage/Oberboden und Haldenmaterialien, Bereich Bleiburg/ Lavamünd (Kärnten). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 15 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1995b): Ergebnisbericht zur mineralogischen Untersuchung von zwei Proben Entschwefelungsschlacke. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 2 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1996): Mineralogische Untersuchung an Mineralphasen von 5 Bodenproben (Pongau/Salzburg). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 7 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1998a): Mineralphasenuntersuchungen an zwei LD-Konverterschlacken zur Abklärung der Schwefel- und Phosphorbindungsformen. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 5 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. (1998b): Unterscheidung geogen/technogen – am Beispiel der Bergbau- und Industrieregion Eisenerz. – In: Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes: 4. Arbeitstagung des Bereiches Umwelt: Tagungsband, 315–317, Wien.
- NEINAVAI, H. (1999): Mineralphasenuntersuchungen an Kompostmaterial. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 15 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. & PIRKL, H. (1995): Dateninterpretation von Schwermetallen anhand von Sedimentuntersuchungen und Geostatistik an ausgewählten WGEV-Meßstellen in Salzburg. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 62 S., Eisenerz/Wien.
- NEINAVAI, H. & PIRKL, H.R. (1996): Bewertung von Schwermetallverteilungen in Böden und Flußsedimenten mit Hilfe angewandter mineralogischer und geostatistischer Werkzeuge. – Ber. Geol. B.-A., **34**, 67 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. & PIRKL, H. (1997): Geowissenschaftliche Bewertung von Belastungsrisiken im Bereich Schlackenbergl/Münichthal (Eisenerz). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 25 S., Eisenerz.
- NEINAVAI, H. & PIRKL, H. (2000): Geochemisch-mineralogische Charakterisierung von ausgewählten Einzugsgebieten in Niederösterreich. Obere Piesting – Ybbs – Umraum Retz. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 12 S., Wien.
- NEINAVAI, H., PIRKL, H. & TRIMBACHER, C. (2000): Herkunft und Charakteristik von Stäuben. – UBA-Berichte, **BE-171**, 61 S., Wien.
- NEINAVAI, H., PIRKL, H., SCHEDL, A., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., ATZENHOFER, B., KLEIN, P., GSTREIN, P., HANSER, E. & WILFING, H. (2001): Screening und Bewertung von ehemaligen Bergbau- und Hüttenstandorten hinsichtlich Umweltrisikopraxis und Folgenutzungspotentialen durch einen integrierten geowissenschaftlich-humanbiologischen Ansatz am Beispiel der Kitzbühler Alpen. – Unveröff. Endber., Proj. MU7/TU17a-Bergaufgelandschaften, 2. Projektphase, 107 S., 4 Anl. in 3 Teilen, Wien.
- NEINAVAI, H., PIRKL, H., LIPIARSKI, P. & SCHEDL, A. (2008): Dokumentation mineralogisch-mikrochemischer Untersuchungen (Phasenanalysen) in Form eines Mineralphasenatlas – Unterstützende Tools für die Interpretation geochemischer Analyseergebnisse. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Projekt Ü-LG-053/06-07, 41 S., DVD, Wien.
- NICKEL, E.H. (1954): The distribution of major and minor elements among some co-existing ferromagnesian silicates. – *American Mineralogist*, **39**, 486–493, Chantilly (USA).
- ÓDOR, L., HORVÁTH, I. & FÜGEDI, U. (1997): Low-density geochemical mapping in Hungary. – *J. Geochemical Exploration*, **60**, 55–66, Amsterdam.
- ÖNORM B 4410 (1974): Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung; Untersuchung von Bodenproben; Erd- und Grundbau. – 3 S., Wien.
- ÖNORM G 1031 (1979): Probenahme für geochemische Aufgabenstellungen. – 5 S., Wien.
- ÖNORM L 1085 (1989): Chemische Bodenuntersuchungen – Verfahren zur Extraktion von Elementen mit Salpetersäure-Perchlorsäure-Gemisch. – 4 S., Wien.
- OTTESEN, R.T., BOGEN, J., BØLVIKEN, B. & VOLDEN, T. (1989): Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. – *J. Geochemical Exploration*, **32**, 257–277, Amsterdam.
- PAWLOWSKY-GLAHN, V., EGOZCUE, J.J. & TOLOSANA-DELGADO, R. (2015): Modeling and Analysis of Compositional Data, *Statistics in Practice*. – 247 S., Chichester (John Wiley & Sons).
- PFLIEDERER, S., ARNDT, R., HÜBL, G., RÖMER, A., BRÜGGEMANN, H., DECKER, K., HEINRICH, M., KLEIN, P., KREUSS, P., PIRKL, H., RANK, D., PAPESCH, W. & REITNER, H. (1999): Geohydrologische und hydrogeologische, geochemische und tektonische Grundlagenstudie in den oberösterreichischen Kalkvoralpen nordöstlich der Enns. – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., Auftragsforschung, Proj. O-A-030/1997-99, 121 S., Wien.
- PFLIEDERER, S., SCHEDL, A., NEINAVAI, H. & PIRKL, H. (2010): Umweltgeochemische Untersuchung von Bachsedimenten, Gesteinen, Böden und Grundwasser zur Charakterisierung geogener bedingter Hintergrundwerte im Stadtgebiet Wien „Umweltgeochemie Stadtgebiet Wien“. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund-Bundesländer Rohstoffprojekt W-C-026/2008-10, 57 S., 4 Beil., Wien.
- PFLIEDERER, S., HEINRICH, M., RABEDER, J., REITNER, H., UNTERS- WEG, T. & WIMMER-FREY, I. (2015): Application of a new method for rapid quality assessment of renewable aggregate resources in alpine regions. – In: PŘIKRYL, R., TÖRÖK, Á., GÓMEZ-HERAS, M., MISOVSKY, K. & THEODORIDOU, M. (Eds.): Sustainable Use of Traditional Geomaterials in Construction Practice. – *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, **416**, London. <http://dx.doi.org/10.1144/SP416.8>
- PIRKL, H. (1993): 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. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländerprojekt K-U-003, 201 S., Wien–Eisenerz.

- PIRKL, H. (1995): Geologisch-geochemisch-hydrogeologische Rahmenbedingungen zur Charakterisierung von Kleineinzugsgebieten S Lockenhaus. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Forschungsprojekt „Vorsorgende Bodenschutzplanung Günser Gebirge“, 39 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (2003): Integrierte Interpretation Geochemischer Daten der Bodenzustandsinventur und der Bachsedimentgeochemie Salzburg (Geogene Hintergrundgehalte BZI Salzburg Nord). – Unveröff. Ber. i. A. Amt d. Sbg. Landesreg. / Ref. Almwirtschaft, landw. Sachverständigendienst u. Bodenschutz u. Geol. B.-A., Proj. S-C-020/03, 45 S., Wien.
- PIRKL, H. & KRALIK, M. (1988): Ergebnisse einer umweltgeochemischen Flußsedimentbeprobung im südlichen Wiener Becken und nördlichen Wechsel. – Ber. Geol. B.-A., **12**, 71 S., Wien.
- PIRKL, H. & NEINAVAI, H. (1996): Umweltgeochemische Flußsedimentbeprobung Niederösterreichs. Kornfraktion <180µ und 40µ. Primärauswertung und erste Interpretationsansätze. – Unveröff. Teilber. GeoÖko, Bund/Bundesländer-Projekt N-U-GeoÖko, 24 S., Wien–Eisenerz.
- PIRKL, H. & NEINAVAI, H. (2001): Mineralogisch-geochemische Methoden zur Bewertung der Umweltrelevanz von Staubdepositionen: Zwischenbericht. – Unveröff. Zwischenber. GeoÖko, 21 S., Wien.
- PIRKL, H. & NEINAVAI, H. (2002): Mineralogisch-geochemische Methoden zur Bewertung der Umweltrelevanz in Staubdepositionen. – Unveröff. Endber. GeoÖko, 59 S., Beil. 1: Dokumentation Standortuntersuchungen (mineralogische Phasenanalytik), Beil. 2: Atlas technologischer Partikel (typische Phasen geordnet nach Emitenten), Wien.
- PLANT, J.A., KLAVER, G., LOCUTURA, J., SALMINEN, R., VRANA, K. & FORDYCE, F.M. (1996): Forum of European Geological Surveys (FOREGS) Geochemistry Task Group 1994–1996 Report – A contribution to the IUGS Continental Geochemical Baselines. – British Geological Survey, Technical Report Nr. WP/95/14, 52 S., London.
- R CORE TEAM (2015). R: A Language and Environment for Statistical Computing. – R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- REIMANN, C. (1987): Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme: Mineralogische, geochemische und statistische Detailuntersuchungen an Bachsedimenten im alpinen Bereich. – Ber. Geol. B.-A., **10**, 211 S., Wien–Leoben.
- REIMANN, C. & GARRETT, R.G. (2005): Geochemical background – concept and reality. – *Science of the Total Environment*, **350**, 12–27, Amsterdam.
- REIMANN, C., FILZMOSER, P. & GARRETT, R.G. (2005): Background and threshold: critical comparison of methods of determination. – *Science of the Total Environment*, **346**, 1–16, Amsterdam.
- REIMANN, C., FILZMOSER, P., GARRETT, R.G. & DUTTER, R. (2008): Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R. – XVIII + 343 S., Chichester.
- REIMANN, C., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., FILZMOSER, P. & O'CONNOR, P. (Ed.) (2014a): Chemistry of Europe's Agricultural Soils. Part A: Methodology and Interpretation of the GEMAS Data Set. – *Geol. Jb.*, **B 102**, 528 S., Stuttgart.
- REIMANN, C., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., FILZMOSER, P. & O'CONNOR, P. (Ed.) (2014b): Chemistry of Europe's Agricultural Soils. Part B: General Background Information and Further Analysis of the GEMAS Data Set. – *Geol. Jb.*, **B 103**, 352 S., Stuttgart.
- REISINGER, H., SCHÖLLER, G., MÜLLER, B. & OBERSTEINER, E. (2009): RUSCH. Ressourcenpotenzial und Umweltbelastung von Schwermetallen. Ressourcenpotenzial und Umweltbelastung der Schwermetalle Cadmium, Blei und Quecksilber in Österreich. – UBA Rep., **229**, 249 S., Wien.
- REITNER, H., FILZMOSER, P. & PIRKL, H. (2014): Subject to change: A log ratio approach to the geochemistry of stream sediment samples. – In: HRON, K. (Ed.): Proceedings of GeoMap Workshop on Practical Aspects of Geochemical Exploration and Mapping with Logratio Techniques, Univerzita Palackého, 50–52, Olomouc.
- ROSE, A.W., HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. (1979): Geochemistry in mineral exploration. – 657 S., London–New York (Academic Press).
- RÖSLER, H.J. & LANGE, H. (1976): Geochemische Tabellen. – 674 S., Stuttgart.
- RUDNICK, R. & GAO, S. (2003): Composition of the continental crust. – In: HOLLAND, H.D. & TUREKIAN, K.K. (Eds.): Treatise on Geochemistry, **3**, 1–64, Oxford.
- SALMINEN, R. (Ed.) (2005): Geochemical Atlas of Europe, Part 1 Background Information, Methodology, Maps. – 526 S., Geological Survey of Finland, Espoo.
- SCHAFFER, R., SCHEDL, A., HULLA, G., DOPPELHOFER, D., PIRKL, H. & NEINAVAI, H. (2001): Schwermetallaustrag in ehemaligen Bergbaugebieten – Transferpfad in die Nahrungskette am Beispiel der Antimon-Fahlerzlagerstätte Brunnalm bei Kirchberg in Tirol (Ergänzungsteil zu KLF-Teilmodul MU7_T/TU17a „Screening- und Bewertungsmodell ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorten“). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Kulturlandschaftsforschung MU7_T, Bund/ Bundesländer-Projekt TU17d, 55 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P., NEINAVAI, N. & ATZENHOFER, B. (2008): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Kärnten“) – Auswertung und Interpretation. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresber. 2008, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt KC-30, 68 S., Wien.
- SCHEDL, A., KLEIN, P., PIRKL, H., HASLINGER, E., HOBIGER, G., LIPIARSKI, H., NEINAVAI, H., PFLEIDERER, S. & REITNER, H. (2009): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Steiermark“); Analyseergebnisse Kornfraktion < 180µm und < 40µm. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresber. 2008, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-C-076, 75 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., NEINAVAI, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P. & HOBIGER, G. (2010a): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Steiermark“). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresber. 2009, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-C-076, 66 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., NEINAVAI, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P., HOBIGER, G., BENOLD, C., HASLINGER, E., ATZENHOFER, B. & MAURACHER, J. (2010b): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Steiermark“). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Endber. 2010, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-C-076, 53 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S., MAURACHER, J. & ATZENHOFER, B. (2010c): Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich hinsichtlich Umweltgefährdung im Rahmen der nationalen Umsetzung der EU-Bergbauabfallrichtlinie 2006/21/EG. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresber. 2009, Projekt ÜLG 55, 78 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S., MAURACHER, J., BENOLD, C., ATZENHOFER, B. & HOBIGER, G. (2011): Bewertung von Stoffflüssen im Bereich ausgewählter Bergbauhaldenstandorte – Methodisches Ergänzungsprogramm zum VLG-Projekt „Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich“. – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., Projekt ÜLG 58, 142 S., Wien.

- SCHEDL, A., PIRKL, H., NEINAVAI, H., LIPIARSKI, P., BENOLD, C., HOBIGER, G., PFLEIDERER, S. & MAURACHER, J. (2012): Bewertung von Stoffflüssen im Bereich ausgewählter Bergbauhaldenstandorte – Methodisches Ergänzungsprogramm zum VLG-Projekt „Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich“. – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., Projekt ÜLG 61, 72 S., Wien.
- SCHEDL, A., LIPIARSKI, P., NEINAVAI, H., BENOLD, C., PFLEIDERER, S. & BIEBER, G. (2013): Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe gemäß der Kommissionsstudie, Kritische Rohstoffe für die EU (2010) – Datenaufbereitung betreffend Böhmisches Massiv, Ergebnissevaluierung als fachliche Basis zukünftiger Projektplanungen. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 128 S., Geol. B.-A., Wien.
- SCHEDL, A., NEINAVAI, H., BENOLD, C., HOBIGER, G., PFLEIDERER, S. & WIMMER-FREY, I. (2014): Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe (Potenziale kritischer Rohstoffe II). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A. (Jahresendber. Projekt Ü-LG-67), 167 S. Wien.
- SCHERMANN, O. (1992): Report from Austria. – In: DEMETRIADES, A. (Ed.): Western European Geological Surveys (WEGS) Working Group on regional geochemical mapping, Report-No. 8, Minutes from Project Meeting in Leuven, Belgium, 1–5 June 1992, 18–19, Trondheim.
- SCHUSTER, R., TROPPEL, P., KRENN, E., FINGER, F., FRANK, W. & PHILIPPITSCH, R. (2015): Prograde Permo-Triassic metamorphic HT/LP assemblages from the Austroalpine Jenig Complex (Carinthia, Austria). – *Austrian Journal of Earth Science*, **108**/1, 73–90, Wien
- SCHWENDT, A. (1998): Digitale geologische Karte der Steiermark 1:200.000. – Joanneum Research, Graz.
- SPADONI, M., CAVARETTA, G. & PATERA, A. (2004): Cartographic techniques for mapping the geochemical data of stream sediments: the “Sample Catchment Basin” approach. – *Environmental Geology*, **45**, 593–599, Heidelberg.
- SPIEGEL, H., DACHLER, M., BÖHM, K.E., PFUNDNER, E., ROTH, K. & SAGER, M. (1999): Cadmium in der Umwelt – ein Statusbericht über Österreich. – *Die Bodenkultur*, **50**, 293–304, Wien.
- STÖBICH, D. (1992): Trachtstudien an den akzessorischen Zirkonen des Weinsberger Granits im östlichen Mühlviertel und westlichen Waldviertel. – Unveröff. Masterarb., Univ.Salzburg, 56 S., Salzburg.
- TAYLOR, S.R. (1964): Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **28**/8, 1273–1285, New York.
- TEMPL, M., HRON, K. & FILZMOSER, P. (2011): robCompositions: an R-package for robust statistical analysis of compositional data. – In: PAWLOWSKY-GLAHN, V. & BUCCIANI, A. (Eds.): *Compositional Data Analysis. Theory and Applications*, 341–355, Chichester (John Wiley & Sons).
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G. (1989a): *Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1.000.000 – Böhmisches Massiv und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm) (Atlasteil)*. – 36 S., Geol. B.-A., Wien.
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G. (1989b): *Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1.000.000 – Böhmisches Massiv und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm) (Textteil)*. – 141 S., Geol. B.-A., Wien.
- THIEDIG, F., VAN HUSEN, D. & PISTOTNIK, J. (1999): *Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Blatt 186 Sankt Veit an der Glan*. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- THIÓ-HENESTROSA, S. & COMAS, M. (2011): *CoDaPack v2 USER'S GUIDE*. – 31 S., Girona.
- TRIMBACHER, C. & NEINAVAI, H. (2002): Studie zur Ermittlung der Herkunft von Stäuben an sechs ausgewählten Messpunkten in Graz: im Auftrag des Landes Steiermark. – UBA Ber., **210**, 92 S., Wien.
- TRIMBACHER, C. & NEINAVAI, H. (2003a): Identification and source apportionment of airborne particulate matter in an Austrian conurbation area by means of integrated mineralogical and SEM analysis. – In: KRÁLIK, M., HÄUSLER, H. & KOLESAR, C. (Eds.): *First Conference on Applied Environmental Geology (AEG '03) in Central and Eastern Europe, Abstract Volume*, Vienna, October 7–10th 2003. – UBA Ber., **228**, 249–251, Wien.
- TRIMBACHER, C. & NEINAVAI, H. (2003b): Individual particle analysis with integrated mineralogical and SEM/EDX techniques at traffic near sites in Austria. – 4th European meeting on Environmental Chemistry, Book of Abstracts, 176, Association of Chemistry and the Environment, Plymouth.
- TRIMBACHER, C. & NEINAVAI, H. (2008): Applied Integrated Mineralogical and SEM/EDX Analysis for the Identification and Source Apportionment of Deposited Dust in Air Quality Control. – In: SCHEDL, A. (Red.): *30 Jahre Angewandte Geochemie in Österreich: Von der Prospektionsgeochemie zur Angewandten Umweltgeochemie: Fachsymposium Wien – Geologische Bundesanstalt 6.–7. November 2008*. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 73, Wien.
- TUKEY, J.W. (1977): *Exploratory data analysis*. – 688 S., Reading (Addison-Wesley).
- TUREKIAN, K.-K. & WEDEPOHL, K.H. (1961): The Distribution of the Elements in the Crust of the Earth. – *Bull. Geol. Soc. Am.*, **72**, 175–192, Boulder.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Zusammenfassungen aus den Bodenzustandsinventuren der Bundesländer. – 14 S., UBA, Wien.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (2014): Technical fact sheet – tungsten. – EPA 505-F-14-004, 5 S. http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet_contaminant_tungsten_january2014_final.pdf (abgefragt am 07.05.2015)
- UNTERSWEIG, T., LETOUZÉ-ZEZULA, G., ATZENHOFER, B., BERKA, R., HEINRICH, M., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., MOSHAMMER, B., POLTNIG, W., POSCH-TRÖZMÜLLER, G. & SCHUSTER, R. (2005): GIS-Generierung einer geologischen Arbeitskarte von Kärnten als Basis weiterführender rohstoff- und angewandt-geologischer Bearbeitungen: Endbericht. – Unveröff. Projektbericht Geol. B.-A. KC-25, 29 S., Wien.
- VELLMER, C. & WEDEPHOL, K.H. (1994): Geochemical characterization and origin of granitoids from the South Bohemian Batholith in Lower Austria. – *Contr. Mineral. Petrol.*, **118**, 13–32, Berlin-Heidelberg.
- VINOGRADOV, A.P. (1962): Average Contents of Chemical Elements in the Principal Types of Igneous Rocks of the Earth's Crust. – *Geochemistry*, **1**, 641–664, New York.
- WEDEPOHL, K.H. (Ed.) (1974): *Handbook of Geochemistry*, II/1–5, Loseblatt-Ausgabe, Berlin-Heidelberg-New York.
- WGEV (1991): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Erhebung der Wassergüte in Österreich (Wassergüte-Erhebungsverordnung – WGEV). – BGBl. I Nr. 121/1991, 30 S., Wien.
- WIMMER, B., JENEWEIN, I., PIRKL, H., SCHEDL, A., STEINER, M. & KOCH, F. (2001a): Schwermetalle im Trinkwasser. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, Vlh-349/03/138 Report, 79 S., Karten, Seibersdorf.
- WIMMER, B., GEHRINGER, P., ESCHWEILER, H., WÖGERER, G., JENEWEIN, I., PIRKL, H. & SCHEDL, A. (2001b): Schwermetalle im Trinkwasser. Phase II. Erhebungserweiterung und verfahrenstechnische Lösungen. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, Vlh-349/03/168 Report, 40 S., 13 Kt., Seibersdorf.

WIMMER, B., AUGUSTIN-GYURITS, K. & PIRKL, H. (2002a): Umwelt-geochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Salzburgs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastung. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, 148 S., 1 Beil. (Geochemischer Atlas des Bundeslandes Salzburg), Seibersdorf.

WIMMER, B., AUGUSTIN-GYURITS, K. & PIRKL, H. (2002b): Umwelt-geochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Tirols auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastung. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, 157 S., Seibersdorf.

WOLKERSDORFER, C. (2008): Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines: Fundamentals, Tracer Tests. – XX + 465 S., Berlin–Heidelberg.

WOLKERSDORFER, C. & WACKWITZ, T. (2004): Antimony Anomalies around abandoned Silver Mines in Tirol / Austria. – In: YOUNGER, P. (Ed.): Proceedings International Mine Water Association Symposium, 161–167, Heidelberg.

ZHANG, C., FAY, D., MCGRATH, D., GRENNAN, E. & CARTON, O.T. (2008): Use of trans-Gaussian kriging for national soil geochemical mapping in Ireland. – *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **8**, 255–265, Heidelberg.

9.2 Gesamtbibliografie zur geochemischen Literatur und Forschung in Österreich

(zusammengestellt von ALBERT SCHEDL)

AGIORGITIS, G. (1968): Zur Geochemie einiger seltener Elemente in basaltischen Gesteinen. – *TMPM*, III.F., **12**, 205–229, Wien.

ALBER, J. (1985): Regionale Feststellung des Rohstoffpotentials (Zusammenfassung der Basisaufnahmen): Bereich ÖK 123 Kitzbühel/Süd, ÖK 123 Zell am See/Süd. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-C-009e/83, S-C-009f/83, 169 S., Wien.

ALBER, J. (1987): Rohstoffpotential südliches Waldviertel – Dunkelsteinerwald. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-009a,b/82, 2 Teile. – Ber. Geol. B.-A., **3**, 186 S., Wien.

ALBER, J., CEIPEK, N., EXEL, R., KLEIN, P. & LEIN, R. (1981): Flußspatprospektion in den östlichen Kalkalpen auf hydrochemischer Grundlage. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-015/80, 36 S., Wien.

ALBER, J., GEPPERT, F., KLEIN, P. & KRECZY, L. (1983): Flußspatprospektion in den niederösterreichischen Kalkalpen, Endbericht 1983. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-014b/81, Geol. B.-A., *Wiss. Archiv*, Nr. A 05560-R, 62 S., Wien.

ALWASHE, M.A. (1974): Die Anwendung geochemischer Prospektionsmethoden im Bereich der Buntmetallvererzungen im Kristallin E und W von St. Christoph/Arzlberg (Vorarlberg/Tirol). – *Dipl.-Arb.* FU Berlin, *Geowissenschaften*, 94 S., Berlin.

AMT DER BURGENLÄNDISCHEN LANDESREGIERUNG (1996): Burgenländische Bodenzustandsinventur 1996. – 209 S., Amt der Burgenländischen Landesregierung, Eisenstadt.

AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (1988): Kärntner Umwelt-schutzbericht 1988. – 253 S., Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 – Umweltschutz und Technik, Klagenfurt.

AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (1994): Kärntner Umweltbericht 1994. – 533 S., Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 – Umweltschutz und Technik, Klagenfurt.

AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (2008): Kärntner Umweltbericht 2008. – 253 S., Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 – Umweltschutz und Technik, Klagenfurt.

AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG & BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (1994): Niederösterreichische Bodenzustandsinventur. – 220 S., Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abt. VI/4, Wien.

AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (1993): Oberösterreichischer Bodenkataster – Bodenzustandsinventur. – 268 S., Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Agrar- und Forstrechtsabteilung, Linz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1988): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1988. – 61 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1989): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1989. – 205 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1990): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1990. – 179 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1991): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1991. – 212 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1992): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1992. – 188 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1994): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1994. – 223 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1995): Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1995. – 211 S., Landwirtschaftlich-chemische Versuchungs- und Untersuchungsanstalt, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1996): Bodenzustandsinventur der Bezirke Bruck/Mur, Leoben, Mürzzuschlag, Voitsberg. – Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1996. – 205 S., Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1997): Bodenzustandsinventur 1995/96 in den Bezirken Graz, Graz-Umgebung, Deutschlandsberg. – Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1997. – 94 S., Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1999): Potentielle Kontaminationsflächen in der Steiermark – Steiermärkischer Bodenschutzbericht 1999. – 103 S., Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2000): Zehnjahreskontrolle von 109 Standorten und Untersuchungen zur zeitlichen und kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern – Steiermärkischer Bodenschutzbericht 2000. – 79 S., Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2001): Bodenzustandsinventur Bezirk Radkersburg 2001. – 82 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2003): Bodenzustandsinventur Bezirk Leibnitz 2002. – 91 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2003): Bodenzustandsinventur Bezirk Deutschlandsberg 2003. – 93 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2004): Bodenzustandsinventur Bezirk Feldbach 2003. – 91 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2005): Bodenzustandsinventur Bezirk Fürstenfeld 2005. – 79 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2006): Bodenzustandsinventur Bezirk Hartberg 2006. – 86 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2007): Bodenzustandsinventur Bezirk Murau 2007. – 79 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2008): Bodenzustandsinventur Bezirk Weiz 2008. – 94 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2009): Bodenzustandsinventur Bezirk Voitsberg 2009. – 99 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2010): Bodenzustandsinventur Bezirke Graz und Graz Umgebung. – 89 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2011): Bodenzustandsinventur Bezirke Mürzzuschlag 2011. – 83 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2012): Bodenzustandsinventur Bezirk Murau 2012. – 89 S., FA 10B – Landwirtschaftliches Versuchungszentrum, Referat Boden- und Pflanzenschutz, Graz.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (1989): Bericht über den Zustand der Tiroler Böden 1988 (Bodenkataster). – 198 S., Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (1995): Bodennutzungs- und Bodenbelastungskataster Brixlegg. – 124 S., Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (1996): Bericht über den Zustand der Tiroler Böden 1996 (1. Wiederholungsbeprobung). – 64 S., Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- ANDERL, M., GANGL, M., GÖTTLICHER, S., KÖTHER, T., MUIK, B., PAZDERNIK, K., POUPA, S., SCHODL, B., STORCH, A., WAPPEL, D. & WIESER, M. (2009): Emissionstrends 1990–2007. Ein Überblick über die österreichischen Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2009). – UBA Rep., **234**, 125 S., Wien.
- ANGERER, H., HOHENBÜHEL, K., KRÄINER, K., POSCHER, G., STINGL, V. & MOSTLER, H. (1986): Überprüfung und Detailuntersuchung von Schwermetall-Indikation aus der regionalen Geochemie im Westabschnitt der Grauwackenzone zwischen Schwaz und Zell am See. – Unveröff. Ber. Univ. Innsbr., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-A-020/82, 112 S., Innsbruck.
- ANTES, G. (1998): Geochemische und geophysikalische Anomalien im Bereich des Arsenkies-Goldvorkommens Strassegg, Steiermark (die „Straßegger Anomalie“). – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 92 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. (1986): Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihrer Verbrennungsprodukte: Zwischenbericht. – Unveröff. Zwischenber. BVFA Arsenal, 3 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. (1988): Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihrer Verbrennungsprodukte. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-014/86, 5 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. (1992): Umweltgeochemie der Flußsedimente Niederösterreichs. – 15. Arbeitstagung auf dem Gebiet der Rohstoff- und Energieforschung am 28. und 29. Oktober 1992 in Krems/Donau, 49, Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. (1997): Geochemische Untersuchungen an Fluß- und Bachablagerungen in Niederösterreich. – Geogen-Anthropogen: Wertstoffe – Schadstoffe, Entstehung und Wirkung auf die Umwelt; Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau: 8 Jahre Untersuchungsergebnisse. – Barbara-Gespräche, **2** (1995), 91–93, Payerbach.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. (1999): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flußsedimente Oberösterreichs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener oder anthropogener Schadstoffbelastung. – Unveröff. Zwischenber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Projekt O-U-012/94, 112 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. (2000): Einzugsgebietsbezogenen Detailbearbeitung der Bachsedimentgeochemie Niederösterreichs. – Unveröff. Zwischenber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Projekt N-U-057/99, 4 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & KRÁLIK, M. (1985): Verwertbarkeit von Stauraumsedimenten: Endbericht 1985. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, 5 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & KRÁLIK, M. (1986): Bericht über Untersuchungen der rezenten Donausedimente im Stauraum des Donaukraftwerkes Aschach: Zwischenbericht. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-005/85, 5 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & KRÁLIK, M. (1987): Untersuchung der rezenten Donausedimente im Stauraum des Donaukraftwerkes Aschach, technische Verwendbarkeit der Sedimente. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-C-005/85-86, 32 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & KRÁLIK, M. (1994): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flußsedimente Niederösterreichs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener oder anthropogener Schadstoffbelastungen. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-015/91, 23 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & SCHROLL, E. (1989): Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihrer Verbrennungsprodukte. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-014/87, 123 S., Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & SCHROLL, E. (1990): Seltene Elemente – Problemelemente – in heimischen und importierten Kohlen. – In: BUNDESVERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT/GEOTECHNISCHES INSTITUT (Hrsg.): 2. Arbeitstagung Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes, Geotechnisches Institut, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien, 9.–11. Mai 1990, Kurzfassungen, 3–4, Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & SCHROLL, E. (1992): Beitrag zur geochemischen Charakterisierung österreichischer Kohlen. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Öst., **38**, 195–211, Wien.
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & WIMMER, B. (2000): Umweltgeochemie der Flußsedimente des Bundeslandes Salzburg. 1. Zwischenbericht. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, Proj. Nr. SU 25/99, 34 S., Seibersdorf.
- AUGUSTIN-GYURITS, K., DOLEZEL, P., HEINRICH, M., MÜLLER, N., SAGER, M. & VINZENZ, M. (1986): Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihren Verbrennungsprodukten: Vorprojekt. – Unveröff. Ber. BVFA Arsenal, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-014/85, 27 S., Wien.

- AUGUSTIN-GYURITS, K., KRÁLIK, M., DOLEZEL, P., MÜLLER, N., SAGER, M., SCHWAB, E. & TYKAL, J. (1990): Stauraumschlämme – Abfall oder Rohstoff. – In: BUNDESVERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT/GEOTECHNISCHES INSTITUT (Hrsg.): 2. Arbeitstagung Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes, Geotechnisches Institut, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien, 9.–11. Mai 1990, Kurzfassungen, 1–2, Wien.
- AUSTROMINERAL (1984): Erfassung und Beurteilung des Rohstoffpotentials im nördlichen Waldviertel: Arbeitsbericht 1983, Proj. N-C-009c/83. – Unveröff. Ber. Austromineral, 80 S., Wien.
- AUSTROPLAN (1985): Erfassung und Beurteilung des Rohstoffpotentials im nördlichen Waldviertel, NÖ.: Arbeitsbericht 1984, Projekt NC 9/c F/84. – Unveröff. Ber. Austroplan, 80 S., Wien.
- AUSTROPLAN (1989): Rohstoffpotential Waldviertel-Nord. Erfassung und Beurteilung des Rohstoffpotentials im nördlichen Waldviertel, NÖ. – Endbericht. – Unveröff. Ber. Austroplan, 207 S., Wien.
- BATJES, N.H. & BRIDGES, E.M. (Ed.) (1991): Mapping of Soil and Terrain Vulnerability to Specified Chemical Compounds in Europe at a Scale of 1:5,000,000: Proceedings of an International Workshop Wageningen, The Netherlands 20–23 March 1991. – 177 S., Int. Soil Refer. and Inf. Centre, Wageningen.
- BAUER, J.K. (1982): Prospektion/Exploration von Fluorit-Baryte und Zinn-Wolfram in der Böhmisches Masse. – Unveröff. Ber. (MINEREX-Archiv Montanbehörde Wien), 18 S., Jenbach.
- BAUER, J.K. (1983): Reproduzierbarkeit geochemischer Daten im internationalen Vergleich – Geochemieprojekt der VOEST-ALPINE im Ostalpenraum. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 12 S., Eisenerz.
- BAUER, J.K. & CERNY, I. (1980): Geologische Karte der Ostkarawanken (Petzen-Obir). Untersuchung der geochemischen Pb-Zn-Verteilungsmodelle in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken: Endbericht 1979. – Unveröff. Ber. BBU, 1 S., Bad Bleiberg.
- BAUER, J.K., NEINAVAI, H., PFEFFER, W., SCHERMANN, O., THALMANN, F. & VOEST-ALPINE (1983): Regionale Wolfram-Molybdänprospektion in Österreich, Geochemie 1981: Geochemische Sucharbeiten auf Wolfram und Molybdän im Gebiet der westlichen Ötztaler Alpen, Verwallgruppe, der kristallinen Zentralzone südlich und östlich der Mur bis zu den Kärntner Seenbecken bzw. des Grazer Beckens – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-C-004b/81, S-C-002c/81, St-C-001d/81, K-C-006b/81, 255 S., Eisenerz.
- BAUMANN, R., HOJESKY, H. & RADUNSKY, K. (1989): Die Immissions-situation um das Aluminiumwerk der AMAG Ranshofen. – UBA Monogr., 9, 221 S., Wien.
- BAUMGARTNER, R.J. (2010): Mineralogische und mineralchemische Untersuchungen zur Verifizierung einer Nb-Anomalie in der südlichen Saualpe, Kärnten. – Unveröff. Bak. Arbeit, Montanuniv. Leoben, 52 S., Leoben.
- BBU (1984): Bericht über Such- und Schurfarbeiten (1983) auf Antimonerze im Grundgraben nordöstlich des Bergbaues Schlaining. – Unveröff. Ber. BBU, 5 S., Bad Bleiberg.
- BBU (1990): Endbericht über das Explorationsprojekt Grundgraben. – Unveröff. Ber. BBU, 19 S., Bad Bleiberg.
- BELOCKY, R. & GRÖSEL, C. (2001): Spektral hochauflösende Fernerkundung zur Beurteilung und Überwachung der Umweltauswirkungen von Bergbautätigkeit – erste Ergebnisse des Projekts MINEO. – Öst. Z. f. Vermessung u. Geoinformatik, 89/3, 149–152, Wien.
- BELOCKY, R., HEINZ, H., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (1995): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/94, 64 S., Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (1996): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Projekt Ü-LG-028/95, 96 S., Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (1997): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Projekt Ü-LG-028/96, 85 S., Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (1998): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Projekt Ü-LG-028/97, 99 S., 8 Beil., Wien.
- BELOCKY, R., SEIBERL, W., SLAPANSKY, P., ARNDT, R. & FABER, R. (1999): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/96, 79 S., Wien.
- BELOCKY, R., SLAPANSKY, P., EBLI, O., OGORELEC, B. & LOBITZER, H. (1999): Die Uran-Anomalie in der Trias-Deckscholle des Gaisberg/Kirchberg in Tirol (Österreich) – Geophysikalische, geochemische und mikrofazielle Untersuchungen. – Abh. Geol. B.-A., 56/2, 13–33, Wien.
- BELOCKY, R., OBERLERCHER, G., SEIBERL, W. & SLAPANSKY, P. (2000): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/1999, 92 S., Wien.
- BERAN, A., HAMILTON, W. & FAUPL, P. (1981): Erkundung auf Mangankupfer in den Strubbergsschichten im Gebiet Golling-Abtenau (Salzburg). – Unveröff. Ber. Univ. Wien, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-A-014/80, 77 S., Wien.
- BERKA, R., PHILIPPITSCH, R., KATZLBERGER, C., SCHUBERT, G. & HÖRHAN, T. (2014): Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000. – 1 Kt., Geol. B.-A., Wien.
- BERKA, R., KATZLBERGER, C., PHILIPPITSCH, R., SCHUBERT, G., KORNBERGER, M., LANDSTETTER, C., MOTSCHKA, K., PIRKL, H., GRATH, J., DRAXLER, A. & HÖRHAN, T. (2014): Erläuterungen zur Geologischen Themenkarte Radionuklide in Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000. – 109 S., Geol. B.-A., Wien.
- BERNHART, W. (1988): Geochemische Untersuchungen im Bereich der Cu-Vererzung Büschendorf, Steiermark. – Unveröff. Meldearb. Montanuniv. Leoben, 11 S., Leoben.
- BIEBER, G., GRÖSEL, K., PIRKL, H., SLAPANSKY, P. & WIMMER-FREY, I. (2004): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/2002, 139 S., Wien.
- BLUM, W.E.H. (1996): Soil pollution by heavy metals – causes, processes and need for future actions. – Mitt. Öst. Bodenkundl. Ges., 54, 53–78, Wien.
- BLUM, W.E.H., GRALL, H., SCHWARZ, S. & WENZEL, W. (1986): Bodenkundliche Basisuntersuchungen. – Unveröff. Ber. BOKU Wien, 94 S., Wien.

- BLUM, W.E.H., SPIEGEL, H. & WENZEL, W.W. (1989): Bodenzustandsinventur Konzeption, Durchführung und Bewertung. – Arbeitsgruppe Bodenzustandsinventur d. Öst. Bodenkundl. Ges., Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, 95 S., Wien.
- BLUM, W.E.H., WENZEL, W.W., DANNEBERG, O.H., GESSL, A., GLATZEL, G., GUSENLEITNER, K.W., KLAGHOFER, E., KÖCHL, A., MENTLER, A., PARTL, H., SPIEGEL, H. & STÖHR, D. (1989): Bodenschutzkonzeption Bodenzustandsanalyse und Konzepte für den Bodenschutz in Österreich. – Arbeitsgr. Bodenschutz d. Bodenkundl. Ges., Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, 153 S., Wien.
- BLUM, W.E.H., HAUSBERGER, G., THALMANN, F., WENZEL, W.W. & HOCHSTEGER, E.H.P. (1992): Bodengeochemie zur Bodenzustandserhebung – Umweltbestandsaufnahme im Gebiet des Voitsberger-Köflacher Beckens. – Unveröff. Ber. Projekt BMWUF, BMLUF, BMUJUF: Gz. 30.362/123/92 und Land Steiermark: Gz. AAW-51B789/38, 20 S., Graz.
- BLUM, W.E.H., HAUSBERGER, G., THALMANN, F. & HOCHSTEGER, E.H.P. (1993): Umweltbestandsaufnahme im Gebiet des Voitsberger-Köflacher Beckens: 1. Zwischenbericht. – Unveröff. Ber., Proj. Bodengeochemie zur Bodenzustandserhebung, 20 S., Graz-Leoben-Eisenerz-Wien.
- BLUM, W.E.H., HAUSBERGER, G., WENZEL, W.W. & PIRKL, H.R. (1993): Bodengeochemie zur Bodenzustandserhebung – Umweltaufnahme im Gebiet des Voitsberger-Köflacher Beckens (2. Zwischenbericht). – Unveröff. Ber. Projekt BMWUF, BMLUF, BMUJUF und Land Steiermark St-U-024/92, ungez. S., Wien-Leoben-Eisenerz.
- BLUM, W.E.H., SPIEGEL, H. & WENZEL, W.W. (1996): Bodenzustandsinventur Konzeption, Durchführung und Bewertung. Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. – 2. überarb. Aufl., Inst. f. Bodenforschung Univ. f. Bodenkultur, i.A. BMLUF, BMWVK, 102 S., Wien.
- BÖCHZELT, B. (1991): Arsenkontamination im Bereich des Arsenbergbaues Rotgülden (Salzburg) – Geochemische und geostatistische Untersuchungen. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Graz, 200 S., Graz.
- BOJAR, H.-P. (2000): Die Genese der Gold-Arsenopyrit Vererzung Straßegg, Steiermark, Österreich. Untersuchungsergebnisse an Hand mineralogischer, petrologischer, geochemischer und Isotopen geochemischer Untersuchungen. – Unveröff. Diss. Univ. Graz, 157 S., Graz.
- BØLVIKEN, B., DEMETRIADES, A., HINDEL, A., LOCUTURA, J., O'CONNOR, P., OTTESEN, R.T., PLANT, J., RIDGWAY, J., SALMINEN, R., SALTPEUR, I., SCHERMANN, O. & VOLDEN T. (1990): Geochemical Mapping of Western Europe towards the Year 2000 – Project Proposal: Western European Geological Surveys (WEGS). – Geological Survey of Norway, NGU Report **90.106**, 12 S., Trondheim.
- BØLVIKEN, B., BOGEN, J., DEMETRIADES, A., DE VOS, W., EBBING, J., HINDEL, R., LANGEDAL, M., LOCUTURA, J., O'CONNOR, P., OTTESEN, R.T., PULKKINEN, E., SALMINEN, R., SCHERMANN, O., SWENNEN, R., VAN DER SLUYS, J. & VOLDEN, T. (1996): Regional geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000. – J. Geochem. Explor., **56/2**, 141–166, Amsterdam.
- BOYKO, T., SCHOLGER, R., STANJEK, H. & MAGPROX-TEAM (2004): Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring: repeatability of in-situ measurements. – J. Applied Geophysics, **55**, 249–259, Amsterdam (Elsevier).
- BRANDENSTEIN, M. & SCHROLL, E. (1960): Borgehalte in Magnesiten. – Radex-Rundschau, **1960**, 150–158, Klagenfurt.
- BRANDENSTEIN, M., JANDA, I. & SCHROLL, E. (1960): Seltene Elemente in österreichischen Kohlen- und Bitumengesteinen. – TMPM, III.F., **7**, 260–285, Wien.
- BREITER, K. & SCHARBERT, S. (1996): The Eisgarn granite and its successors in the South Bohemian batholith. – Mitt. Öst. Min. Ges., **141**, 75–76, Wien.
- BRENNSTEINER, E. & KORAK, J. (1972): Geologische und geochemische Prospektion des Antimonvorkommens Brückl in Kärnten. – Unveröff. Meldearb. Montanuniv. Leoben, 18 S., Leoben.
- BRUNNER, A. (1998): Teil 3: Bergbau- und Hüttenstandorte aus Sicht des Umweltschutzes. – In: FEITZINGER, G., GÜNTHER, W. & BRUNNER, A. (Hrsg.): Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Amt der Salzburger Landesregierung, Abt. 16 Umweltschutz, 182–214, Salzburg.
- BUGGISCH, W., NOE, S. & KRUMM, S. (1994): Geochemische und fazielle Muster in peritidalen Kalk/Dolomit-Zyklen der oberen Bellerophon-Schichten (Oberperm) in den Südalpen. – Abh. Geol. B.-A., **50**, 69–87, Wien.
- BÜHLING, A., CARL, C., HERR, W. & NEY, P. (1979): Untersuchungen über die Geo- und Biogeochemie von Beryllium und anderen Spurenelementen in den Hohen Tauern. – Verh. Geol. B.-A., **1978/3**, 267–272, Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT – ARBEITSKREIS CHEMIE – ÜBERWACHUNG ZIELE (2003): Wasserrahmenrichtlinie. Überwachung der chemischen Parameter in Oberflächengewässern. Stand 30. April 2003. – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 32 S., 7 Beil., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT – ARBEITSKREIS CHEMIE – ÜBERWACHUNG ZIELE (2003): Wasserrahmenrichtlinie. Qualitätsziele für chemische Stoffe in Oberflächengewässern. – 32 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT – ARBEITSKREIS CHEMIE – ÜBERWACHUNG ZIELE (2005): Wasserrahmenrichtlinie. Risikoabschätzung für chemische Schadstoffe in Oberflächengewässern. Beschreibung der Bewertungsmethode. Stand 31. Jänner 2005. – 18 S., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (1995): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 1994. – 402 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (1997): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 1996. – 231 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (1999): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 1998. – 222 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (2001): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2000. – 230 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (2003): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2002. – 266 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (2005): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2004. – 198 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (2006): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2006. – 184 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (2011): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2010. Überwachung des Gewässerzustands gemäß GZÜV (BGBl. II Nr. 479 2006 i.d.F. BGBl. II Nr. 465 2010). – 141 S., Wien.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT & UMWELTBUNDESAMT (2012): Wassergüte in Österreich. Jahresbericht 2012. Überwachung des Gewässerzustands gemäß GZÜV (BGBl. II Nr. 479 2006 i.d.F. BGBl. II Nr. 465 2010). – 84 S., Wien.
- BUNESS, H., HAAK, V., HEIN, U.F. & SCHNEIDER, H.-J. (1986): Bericht über die Ergebnisse der geochemisch-geophysikalischen Prospektionsübung im Raum Übelbach (Steiermark) 16.5. bis 31.5.1986. – Unveröff. Ber. FU Berlin, 59 S., Berlin.
- BUNESS, H., GIESE, P., ÖZGÜR, N., RAHDERS, E., SCHNEIDER, H.-J. & SCHWARZ, G. (1988): Bericht über Ergebnisse der geochemischen und geophysikalischen Untersuchungen im Raum Lind (Kärnten). – Unveröff. Ber. FU Berlin, 26 S., Berlin.
- BUNESS, H., GIESE, P., QUEDNAU, M., OTTO, A., SCHNEIDER, H.-J. & SCHWARZ, G. (1990): Bericht über Ergebnisse der geochemischen und geophysikalischen Prospektionsübung im Raum Meiselding (Kärnten), 3. bis 15. Juni 1990. – FU Berlin, Fachbereich Geowiss., 35 S., Berlin.
- BURSCHE, W. (2003): (Öko)toxikologische Bewertung von Daten zur Festlegung von Umweltqualitätsnormen zur Umsetzung der Richtlinie 76/464/EWG und der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) 2000/60/EG in Österreich. Gutachten. – Unveröff. Ber. im Auftrag BMLFUW, Univ. Wien, Wien.
- CARDICH-LOARTE, L.A. & SCHROLL, E. (1973): Die Verteilung und Korrelation einiger Elemente in einem Erzkalkprofil der Bleiberger Fazies (Bleiberg/Kärnten – Rudolfschacht). – Tmpm, III.F., **20**, 59–70, Wien.
- CARITAT, P. DE, REIMANN, C., NGA PROJECT TEAM & GEMAS PROJECT TEAM (2012): Comparing results from two continental geochemical surveys to world soil composition and deriving Predicted Empirical Global Soil (PEGS2) reference values. – Earth and Planetary Science Letters, **319/320**, 269–276, Amsterdam.
- CARL, C. (1979): Neutronenaktivierungsanalytische Untersuchungen über die Verteilung der Seltenen Erden und anderer Spurenelemente in kohligem Chondriten und in metamorphen Gesteinen der Ostalpen. – Diss. Univ. Köln, 181 S., Köln.
- CEIPEK, N. (1971): Zur Prospektion auf Erzlagertstätten in Österreich. – Montan-Rundschau, **19**, 3–6, Wien.
- CERNY, I. (1978): Geochemie „anisischer“ Sedimentgesteine in den Nordkarawanken. – Carinthia II, **168/88**, 55–70, Klagenfurt.
- CERNY, I. (1979): Untersuchung des geochemischen Pb-Zn-Verteilungsmodelles in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 8 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1979): Integrierte Rohstofforschung in der Kreuzeckgruppe und anschließenden Bereichen der Gailtaler Alpen bzw. Reißbeckgruppe – Lagerstättenforschung. – Unveröff. Ber. BBU, 8 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1979): Geochemieauswertung („Anis-Cordevol“). – Unveröff. Ber. BBU, 9 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1980): Sedimentologische und geochemische Untersuchungen der Kriterien für das Auftreten von Blei-Zink Vererzungen in Kalk- und Dolomitgesteinen der Karnischen Stufe (Trias) im Raum Bleiberg. – Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-006/79, 19 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1980): Integrierte Lagerstättenforschung in stratigraphisch definierbaren Gesteinsserien der Trias (Anis-Nor) im Raum Bleiberg (Endbericht 1980). – Unveröff. Ber. BBU, 63 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1980): Sulfidvererzungen an der Wende Karn/Nor in Karbonatgesteinen der Draukalkalpen und ihr Zusammenhang mit Faziesdifferenzierung und tektonischer Aktivität. – Unveröff. Ber. BBU, 33 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1980): Statistische Auswertung – Geochemie Luschaalm (Eisenkappel). – Unveröff. Ber. BBU, 17 S., 1 Kt., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1980): Chemische und mineralogische Untersuchungen von Haldenproben von Windisch Bleiberg. – Unveröff. Ber. BBU, 12 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1980/1981): Geochemische Untersuchungen von Bachsedimenten im Raum Oberwart-Rechnitz. – Unveröff. Ber. BBU, 3 S., 3 Kt., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. (1981): Geochemische Untersuchungen von Karbonatgesteinen im Antimonbergbau Schlaining (Burgenland). – BHM, **126/12**, 524–527, Wien–New York.
- CERNY, I. (1989): Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und außeralpinen Mesozoikums. Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **11**, 5–125, Wien.
- CERNY, I. (1989): Current prospecting strategy for carbonate-hosted Pb-Zn Mineralizations at Bleiberg-Kreuth (Austria). – Econ. Geol., **84**, 1430–1435, New Haven.
- CERNY, I. & SCHERER, J. (1981): Endbericht 1980 zum Forschungsprojekt „Geochemisches Blei-Zink-Verteilungsmodell in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken“: Teil I „Probenahme und Geochemieauswertung von Bachsedimenten in den Ostkarawanken“. – Unveröff. Ber. BBU, 33 S., Leoben.
- CERNY, I. & SCHERER, J. (1981): Endbericht 1981 zum Forschungsprojekt „Geochemie im Gebiet Zentralalpen Ostende, Teile Burgenland (B-C2b/81), Niederösterreich (N-C6e/81) und Steiermark (St-C1c/81): Probenahme – Unveröff. Ber. BBU, 6 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1991): Erfassung heimischer Vorräte an hochtechnologisch interessanten Spezialmetallen (vor allem Ga, In, Tl, Ge, Se, Te, Cd) in Erzen. – Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-013/87, R, 37 S., 2 Kt., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1992): Beurteilung der Verfügbarkeit von Lagerstätten bzw. Vorkommen von Pb-Zn-Rohstoffen sowie der mit diesen assoziierten Nebenelementen in Österreich im Hinblick auf neue Anwendungsbereiche und neue Technologien. – Unveröff. Teilber. Proj. Rohstoffe für Zukunftstechnologien II, Öst. Akad. Wiss., Komm. f. Grundlagen d. Mineralrohstoff-Forschung, 320 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1994): Blei-Zink-Rohstoffe sowie die mit diesen assoziierten Nebenelemente (Spezialmetalle) in Österreich. – In: STERK, G. (Hrsg.): Rohstoffe für neue Technologien. – Schriftenreihe d. erdwiss. Komm. d. ÖAW, **11**, 65–69, Wien.
- CERNY, I. & SCHROLL, E. (1995): Heimische Vorräte an Spezialmetallen (Ga, In, Tl, Ge, Se, Te und Cd) in Blei-Zink- und anderen Erzen. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **18**, 5–33, Wien.
- CERNY, I., HOLZER, H.F., STUMPFL, E.F., GOULD, L.P., WALLNER, P., REIMANN, C. & TISCHLER, S.E. (1979): Integrierte Rohstofforschung in der Kreuzeckgruppe und anschließenden Bereichen der Gailtaler Alpen bzw. Reißbeckgruppe – Lagerstättenforschung. – Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/78, 50 S., Leoben–Klagenfurt.
- CERNY, I., STATTEGGER, K. & JANSCHKE, H. (1979): Forschungsprojekt Geologische Untersuchungs- und Prospektionsarbeiten westlich von Bleiberg (Kobesnock – Tschekelnock). Endbericht 1979. – Unveröff. Ber. BBU, 12 S., Wien.
- CERNY, I., SCHROLL, E., HOLZER, H.L., POLTNIIG, W., RATSCHBACHER, L. & NIEVOLL, J. (1980): Untersuchung des geochemischen Blei-Zink-Verteilungsmodelles in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken (Endbericht 1979). – Unveröff. Ber. BBU, 127 S., Bad Bleiberg.

- CERNY, I., HEINEMANN, H. & KRÄINER, K. (1981): Integrierte Lagerstättenforschung in stratigraphisch definierbaren, erzhöflichen Gesteinsserien der Trias (Anis-Nor) im Raum Bleiberg. Endbericht 1980. – In: BBU: Integrierte Lagerstättenforschung Bleiberg (Projektkurztitel). – Unveröff. Ber. BBU, 49 S., Bad Bleiberg.
- CERNY, I., SCHERER, J. & SCHROLL, E. (1982): Blei-Zink-Verteilungsmodell in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **1**, 15–22, Wien.
- CERNY, I., SCHERER, J., SCHROLL, E., HOLZER, H.L., BUCHROITHNER, M.F., STATTEGGER, K., POLTNIIG, W.F., NIEVOLL, J. & RATSCHBACHER, L. (1982): Blei-Zink Verteilungsmodell in stillliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken. – Unveröff. Ber. BBU, 25 S., 5 Kt., Bad Bleiberg.
- CERNY, I., KOSTELKA, L., POLEGEG, S. & SCHROLL, E. (1986): Spezialmetalle, vor allem Ga, In, Tl, Ge, Se und Te in Erzen und Schlacken: Vorprojekt. – Unveröff. Ber. BVFA, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-013/85, 25 S., Wien.
- CLARA, M., KRÄLIK, M., MIESBAUER, H., SCHABUSS, M., SCHARF, S., VALLANT, B., WEISS, S. & GRILLITSCH, B. (2010): Pollutants of Priority concern in Austrian Rivers. Mercury and its compounds Triphosphates. – UBA Rep., **253**, 76 S., Wien.
- COLLEY, R. (1988): Heavy metal distribution in the Altenwörth Reservoir, Danube, Austria. – Acta hydrochim. hydrobiol., **16**, 407–417, Weinheim.
- DANNEBERG, O.H. (1999): Hintergrundwerte von Spurenelementen in landwirtschaftlich genutzten Böden Ostösterreichs. – Mitt. Öst. Bodenkundl. Ges., **57**, 7–24, Wien.
- DANNEBERG, O.H. (2000): Die landwirtschaftlich genutzten Böden Niederösterreichs, Oberösterreichs, der Steiermark und des Burgenlandes und ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften: eine Auswertung der Bodenzustandsinventuren dieser Länder. – Schriftenreihe des BFL, **25/2000**, Teil 1: 39 S., Teil 2: 120 S., Teil 3: 172 S., Wien.
- DAVIS, J.C., BROWNRIGG, R. & WEBER, L. (1987): Geostatistical Interpretation of the Grazer Paläozoikum (Kooperation Geologische Bundesanstalt – Geological Survey of Kansas in Bezug auf Auswertungsmodelle geochemischer Daten). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Proj. Ü-LG-021/87, 24 S., Wien.
- DEMETRIADES, A., BØLVIKEN, B., HINDEL, R., OTTESEN, R.T., SALMINEN, R. & SCHERMANN, O. (1993): The geochemical implications of environmental pollution. – In: Proceedings of HELECO '93: 1st International Exhibition and Conference of Environmental Technology for the Mediterranean Region, Athens 1–4 April 1993. – Technical Chamber of Greece, Athens, **1**, 467–479, Athen.
- DEMETRIADES, A., REIMANN, C., BIRKE, M., SALMINEN, R., DE VOS, W., TARVAINEN, T. & EUROGEOSURVEYS GEOCHEMISTRY EXPERT GROUP (2010): Geochemical Atlas of Europe produced by the Eurogeosurvey Geochemistry Expert Group: State of Progress and Potential Uses. – In: KOUKIS, G., ZELILIDIS, A., KOUKOUVELAS, I., PAPAHEODOROU, G., GERAGA, M. & ZYGOURI, V. (Ed.): Proceedings of the 12th International Congress of the Geological Society of Greece: Planet Earth – Geological processes and sustainable development. – Bull. Geol. Soc. Greece, **XLIII/5**, 2350–2360, Athens.
- DERKMANN, K.J. (1976): Geochemisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen an Kiesvorkommen in den Metabasiten der Oberen Tauern-Schieferhülle. – Diss. Univ. München, 189 S., München.
- DERKMANN, K.J. & KLEMM, D.D. (1974): Bericht über die Gelände- und Prospektionsarbeiten zur Untersuchung der Kiesvererzungen in den Grungesteinen der Oberen Tauern-Schieferhülle während des Jahres 1974. – Unveröff. Ber., Preussag-Metall-Archiv, 36 S., München.
- DERKMANN, K.J. & KLEMM, D.D. (1979): Kies-mineralizations in Ophiolitic Rocks of the Upper Tauern-Schieferhülle. – Proceed. 3rd ISMIDA, Leoben 1977. – Verh. Geol. B.-A., **1978**, 285–291, Wien.
- DIEBER, K., RONGE, W. & THALMANN, F. (1979): Regionale Scheelitprospektion in Osttirol (systematische geochemische Untersuchung Osttirols – Probenahme): Forschungsauftrag. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 113 S., Leoben.
- DIEBER, K., LEITGEB, G., PFEFFER, W., RONGE, W. & THALMANN, F. (1980): Wolframprospektion im Raum Villgarten – Lienz – Systematische, geochemische Untersuchung Osttirols – Probenahme. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-A-003/79, 51 S., Leoben.
- DOLEZEL, P. (1976): Zur Geochemie der ostalpinen Sideriterze. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 164 S., Wien.
- DOLEZEL, P. (1986): Wann ist ein Schadstoff ein Schadstoff? – Mitt. Öst. Geol. Ges., **79** (Themenband Umweltgeologie), 127–129, Wien.
- DOLEZEL, P. & SCHROLL, E. (1979): Beitrag zur Geochemie der Siderite in den Ostalpen. – Proceed. 3rd ISMIDA, Leoben 1977. – Verh. Geol. B.-A., **1978**, 293–299, Wien.
- DOLEZEL, P., RANK, D., KAPPEL, F. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1985): Übersichtsuntersuchung an Feinsedimenten aus den Stauräumen des österreichischen Donauabschnittes II: Chemische Untersuchungen. – 25. Arbeitstagung der IAD, Bratislava/Tschechoslowakei 1985: Wissenschaftliche Kurzreferate, 10–15, Bratislava.
- DONATI, B. (2000): Mineralogisch-geochemische Bewertung des Vererzungstyps Brunnalm/Kitzbühler Alpen. Prozesse der Schwermetallmobilisierung und des Schwermetalltransfers (2. Zwischenbericht). – Unveröff. Ber., 22 S., Innsbruck.
- DONATI, B. (2003): Prozesse der Schwermetallmobilisierung und des Schwermetalltransfers am Beispiel der Fahlerzvererzung Brunnalm/Kitzbühler Alpen. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Innsbruck, 119 S., Innsbruck.
- DWORSKY, R., EBNER, F., GAMS, H. & OTTENDORFER, L.J. (1973): Untersuchungen über den Quecksilbergehalt in österreichischen Oberflächengewässern. – Österreichische-Abwasser-Rundschau, **17/4**, 53–60, Wien.
- DWORSKY, R., EBNER, F., GAMS, H. & OTTENDORFER, L.J. (1973): Untersuchungen über den Quecksilbergehalt in österreichischen Oberflächengewässern. I. Mitteilung: Wasser- und Sedimentuntersuchungen der Donau. – Österreichische-Abwasser-Rundschau, **18/2**, 22–27, Wien.
- EBNER, F. & GAMS, H. (1984): Schwermetalluntersuchungen in der Donau im Zeitraum 1976–1984. – Wasser und Abwasser, **28**, 105–133, Wien.
- EBNER, F. & GAMS, H. (1989): Schwermetalluntersuchungen in der Donau und den wesentlichen Nebenflüssen im Zeitraum 1984 bis 1987. – Wasser und Abwasser, **33**, 69–140, Wien.
- EBNER, F. & PROCHASKA, W. (1989): Geochemische Prospektion auf Metalle in den miozänen Vulkaniten des Gleichenberger Massivs. – Unveröff. Ber. VALL, 70 S., Leoben.
- EBNER, F. & PROCHASKA, W. (1989): Geochemical characterization of Carboniferous sedimentary rocks within the Rannach-Group of the Paleozoic of Graz (Eastern Alps, Austria). – Geol. Soc. Greece, Spec. PuS., **1**, 23–33, Athens.
- EBNER, F. & WEBER, L. (1980): Projekt Erweiterung geochemischer Prospektionsarbeiten von Quecksilbervererzungen in mitteldevonen Serien des Grazer Paläozoikums. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-002a/79, 16 S., Graz–Wien.

- EBNER, F. & WEBER, L. (1982): Geochemische Prospektion auf Quecksilbervererzungen im Mitteldevon der Rannach-Fazies des Grazer Paläozoikums. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **2**, 47–62, Wien.
- EBNER, F., GAISBERGER, G. & PROCHASKA, W. (2004): Schwermetalle in landwirtschaftlich genutzten Böden im Blahbachtal östlich Oberzeiring. – Unveröff. Ber. VALL, 69 S., Leoben.
- EGGER, P. & ERNST, K. (1951): Geochemische Untersuchung der Blei-Zink Lagerstätte Lafatsch. – Unveröff. Dipl.-Arb. Mont. Hochsch. Leoben, 46 S., 1 Kt., Leoben.
- EICHHORN, R. (1995): Isotopengeochemische und geochemische Untersuchungen an Gesteinen und Mineralen der Scheelit-Lagerstätte Felbertal (Land Salzburg, Österreich). – Münchner Geol. Hefte, **15**, 1–78, München.
- EL AGEED, A.E. (1979): The Hochgrößen ultramafic mafic association – Its associated mineralisation and petrogenetic significance. – Unveröff. Diss. Univ. Köln, 46 S., Köln.
- EL AGEED, A.E., SAAGER, R. & STUMPFL, E.F. (1979): The Hochgrößen Ultramafic Rocks and Associated Mineralizations, Rottenmann Tauern, Austria. – Proceed. 3rd ISMIDA, Leoben 1977. – Verh. Geol. B.-A., **1978/3**, 187–196, Wien.
- ENGLISCH, M., KILIAN, W. & MUTSCH, F. (1991): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur, erste Ergebnisse. Teilprojekt des Waldschadenbeobachtungssystems der FBVA (Projekt G7). – FBVA-Berichte, **48**, 74 S., Wien.
- ESW CONSULTING WRUSS (2000): Bestandsaufnahme der Bodenbelastung in Wien – PAK, KW, Schwermetalle. – Unveröff. Ber. i. A. MA 42, 34 S., Wien.
- ESW CONSULTING WRUSS (2004): Bodenuntersuchungen auf Wiener Kinderspielflächen. – Unveröff. Ber. i. A. MA 42, 8 S., Wien.
- EUROGEOSURVEYS GEOCHEMISTRY WORKING GROUP (2008): Euro-GeoSurveys Geochemical mapping of agricultural and grazing land soil of Europe (GEMAS) – Field manual. – NGU Report 2008.038, 46 S., Geological Survey of Norway, Trondheim.
- FEITZINGER, G. (1993): Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. Standort Ramingstein, Lungau. Ehemaliger Blei-Silber-Bergbau und Verhüttung. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 25 S., 3 Kt., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1993): Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. Standort Naßfeld bei Böckstein, Gasteinertal. Ehemalige Golderzaufbereitung. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 26 S., 1 Kt., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1993): Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. Standort Mühlbach am Hochkönig. Ehemaliger Kupferbergbau, Aufbereitung und Hütte. Standort Mitterberghütten bei Bischofshofen. Ehemalige Kupferhütte. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 17 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1994): Hüttschlag im Großarlal. Ehemaliger Kupfer- und Schwefelkies-Bergbau und -Schmelzhütte. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 43 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1994): Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. Standort Seekar in Obertauern am Radstädter Tauern. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 12 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1995): Nöckelberg bei Leogang. Ehemaliger Kobalt-Nickel- und Kupferbergbau. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 17 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1996): Radhausberg Gasteinertal, Pongau. Ehemaliger Gold-Silber-Bergbau. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 31 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1996): Siglitz – Pochkar – Erzwies. Ehemalige Gold-Silber-Bergbaue. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 36 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1996): Schwarzenbach bei Dienten, Pinzgau. Ehemaliger Kupfer- und Schwefelkies-Bergbau. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 22 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1996): Radstadt – Filzmoos, Pongau. Ehemalige Kupfer-Eisen-Zink-Blei-Bergbaue Schwemmburg, Hachau, Hammergraben, Scharlape. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 31 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1996): Sonnblickgruppe Rauriser Tal, Pinzgau. Ehemalige Gold-Silber-Bergbaue. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 51 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G. (1997): Grieswies – Schwarzkogel. Ehemaliger Gold-Silber-Bergbau. Erhebungsbefund. – Anhang zum Bericht „Sonnblickgruppe, Rauriser Tal, Pinzgau“. – Altlastenverdächtige Bergbau- und Hüttenstandorte im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. (Rohstoff-Forschungs-Archiv, Land Salzburg), 6 S., Salzburg.
- FEITZINGER, G., PAAR, W.H., TARKIAN, M., RECHE, R., WEINZIERL, O., PROCHASKA, W. & HOLZER, H. (1995): Vein type Ag-(Au)-Pb, Zn, Cu-(W, Sn) mineralization in the Southern Kreuzeck Mountains, Carinthia Province, Austria. – Mineralogy and Petrology, **53**, 307–332, Wien.
- FELDER, H. (1992): Schwermetallbelastung im Raum Linz im Rahmen der oberösterreichischen Bodenzustandsinventur. – Unveröff. Dipl.-Arb. BOKU Wien, 82 S., Wien.
- FENNINGER, A., STATTEGGER, K., MANSER, P., PLASS, N. & SCHOLGER, R. (1988): Sedimentologische Untersuchungen an Stauraumsedimenten der Mur: Eine Vorstudie am Beispiel der Staustufe Mellach. – Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **118**, 107–118, Graz.
- FIALOVA, H., MAIER, G., PETROVSKY, E., KAPICKA, A., BOYKO, T., SCHOLGER, R. & MAGPROX TEAM (2006): Magnetic properties of soils from different geological and environmental settings. – J. Applied Geophysics, **59**, 273–283, Amsterdam.
- FINDHAMMER, T. & LAHUSEN, L. (1975): Bericht über geophysikalische, geochemische und geologische Prospektionsarbeiten im Bereich der kieserzführenden Thurntaler Quarzphyllite (Österreich/Osttirol). – Unveröff. Ber. PREUSSAG, 13 S., Goslar.
- FINGER, F., FRIEDL, G., HAUNSCHMID, B., KOSCHIER, E. & SCHARBERT, S. (1988): Geochemische Analysen von Granitoiden aus dem östlichen Mühlviertel. – Ber. Geol. B.-A., **14**, 124–130, Wien.
- FISCHER, L. (2011): Entwicklung von Multielement- und Speziierungsmethoden für die Untersuchung von Fließgewässern und Abwasser. – Unveröff. Diss. BOKU Wien, 14 S., Anhang 1: 96 S., Anhang 2: 50 S., Wien.

- FISCHER, L., HANN, S. & PIRKL, H. (2010): Bestimmung des Hintergrunds von Metallen (Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG) in ausgewählten österreichischen Oberflächengewässern mittels ICP-SFMS. – Unveröff. Endber. i. A. d. Lebensministeriums, 96 S., Wien.
- FLEISCHMANN, R. (1994): Beurteilung der Schwermetallbelastung der Böden im Bereich des Schrotturmes in Gailitz/Arnoldstein. Abschlußbericht. – Unveröff. Ber. MUL, Abschlußber. i. A. d. Kärntner Landesreg., Abt. 15 Umweltschutz, 40 S., 22 Kt., Leoben.
- FORUM OF EUROPEAN GEOLOGICAL SURVEYS (FOREGS) (1993): Final Report of the Working Group on Regional Geochemical Mapping 1986–93. – 18 S., NGU, Trondheim.
- FREN (1980): VOEST-ALPINE AG Projekt: „Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften“, Gebiet des Minnachberges bei FRIESACH-OLSA/Kärnten. – Unveröff. Ber. FREN, 82 S., 3 Kt., Leoben.
- FRIMMEL, H. (1987): Strukturgeologische, geochemische und geochronologische Untersuchungen zur Entwicklungsgeschichte des NW-Randes der Gurktaler Decke (Oberostalpin). – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 199 S., Wien.
- FRÖSCHL, H. (1990): Umweltgeochemische Untersuchungen an Sedimenten des Völkermarkter Stausees. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 196 S., Wien.
- FURTMÜLLER, G. (1996): Dreidimensionale Modellierung geologischer und geochemischer Daten am Beispiel eines Zementbergbaues. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Salzburg, 84 S., Salzburg.
- GAISBERGER, G. (2005): Verteilung, Mobilität und Bioverfügbarkeit von Schwermetallen in Böden des historischen Bergbaubereiches Oberzeiring. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 181 S., Leoben.
- GAISBERGER, G., EBNER, F., PROCHASKA, W. & SAGER, M. (2003): Heavy metals and their biological availability in soils around the historic mining and metallurgy centre of Oberzeiring/Austria. – UBA Ber., **228**, 179–181, Wien.
- GAISBERGER, G., EBNER, F., PROCHASKA, W. & SAGER, M. (2003): Environmental impact of historic mining and metallurgy to soils (Oberzeiring – Eastern Alps/Austria). – In: ELIOPOULOS, D.G. (Ed.): Mineral exploration and sustainable development, 25–28, Rotterdam.
- GALLHOFER, D. (2011): Lithologische und geochemische Charakterisierung der Magnesitlagerstätte Breitenau (Grazer Paläozoikum/Ostalpen). – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 165 S., Leoben.
- GARBE, C.-D. (1982): Geochemisch-lagerstättenkundliche Untersuchung an der schichtgebundenen Kupferlagerstätte Großfragant, Hohe Tauern (Kärnten, Österreich). – Dipl.-Arb. Univ. Hamburg, 149 S., Hamburg.
- GARRETT, R.G., REIMANN, C., SMITH, D.B. & XIE, X. (2008): From geochemical prospecting to international geochemical mapping: a historical overview. – Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis (Arthur Darnley issue), **8**, 205–217, London.
- GASSNER, M. (2001): Geochemische und petrologische Untersuchungen an ausgewählten steirischen Pegmatiten (Koralpe, Stubalpe, Kristallin von St. Radegund, Anger-Kristallin). – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 176 S., Leoben.
- GATTERNIG, F., KRASSNITZER, A. & STRIEDNER, J. (1994): Orientierende Messungen von Immissionskonzentrationen von Schwermetallen in Brixlegg. – UBA Ber., **21**, 12 S., Klagenfurt.
- GEBERT, W. (2007): Zur geologischen und geochemischen Charakterisierung ostalpiner Gips- und Anhydrit-Lagerstätten. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 107 S., Wien.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, ÖSTERREICHISCHES FORSCHUNGS- UND PRÜFZENTRUM ARSENAL BEREICH UMWELT & PIRKL, H.R. (1998): Konzept Geochemie mit Raumbezug 1998–2005. – 13 S., Geol. B.-A., Wien.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, JOANNEUM RESEARCH, ÖSTERREICHISCHES FORSCHUNGS- UND PRÜFZENTRUM ARSENAL & REGIONALES FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSZENTRUM EISENERZ (1999): Arbeitskonzept Angewandte Geochemie mit Raumbezug 1999–2010. Systematische Basisaufnahme Werkzeuge für Umweltprogramme. – 15 S., Geol. B.-A., Wien.
- GERMANN, K. & WALDVOGEL, F. (1971): Mineralparagenesen und Metallgehalte der „Manganschiefer“ (unteres Toarcian) in den Allgäu-Schichten der Allgäuer und Lechtaler Alpen. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **139**, 316–345, Stuttgart.
- GEUTEBRÜCK, E. (1976): Geochemische Charakterisierung vererzter und nicht vererzter Breccien in der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth in Kärnten. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 67 S., Leoben.
- GIESE, P., HAAK, V., HEIN, U. & SCHNEIDER, H.-J. (1980): Bericht über Ergebnisse der geophysikalisch-geochemischen Prospektionsübungen in der südlichen Kreuzeckgruppe/Kärnten, 24. Mai bis 6. Juni. 1980. Mit Unterstützung der studentischen Teilnehmer. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 15 S., 7 Kt., Berlin.
- GIESE, P., HAAK, V., HEIN, U.F., SCHNEIDER, H.-J., KLEVER, N. & WOLTER, R. (1980): Bericht über Ergebnisse der geophysikalisch-geochemischen Prospektionsübungen im Gailtal-Kristallin (Kärnten) 9.6. bis 22.6.1980. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 21 S., 4 Kt., Berlin.
- GIESE, P., HAAK, V., HEIN, U., KLEVER, N., SCHNEIDER, H.-J. & WOLTER, R. (1982): Bericht über Ergebnisse der geophysikalisch-geochemischen Prospektionsübung im Raum Meiselding (südl. Gurktaler Alpen, Kärnten): 29.5. bis 11.6.1982. – 18 S., 7 Kt., FU Berlin, Fachbereich Geowiss. u. Geophys., Berlin.
- GIMPL, M. & STEINERT, M. (1988): Geochemische Prospektion auf Blei und Zink im Raum Wiesmath/NÖ. – Unveröff. Meldearb. Montanuniv. Leoben, 6 S., 1 Kt., Leoben.
- GÖD, R. (1981): Ein Beitrag zur Petrographie und Geochemie des Bergbaureviers Schellgaden. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Öst., **27**, 189–200, Wien.
- GÖD, R. (1981): Prospektion scheelitführender Kalksilikate im Moldanubikum Niederösterreichs. – Fortschr. Min. Beih., **59**, 53, Stuttgart.
- GÖD, R. (1988): Zusammenfassende Übersicht über ausgeführte Erzprospektionsvorhaben, dabei eingesetzte Methoden sowie Hoffungsgebiete im Kristallin der Böhmisches Masse. – Unveröff. Ber., Proj. N-C-006a/87 (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 52 S., Wien.
- GÖD, R. (1989): A Contribution to the Mineral Potential of the Southern Bohemian Massiv (Austria). – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **9**, 147–153, Wien.
- GÖD, R. (1993): Vergleich potentiell toxischer Schwermetallbelastungen von Bachsedimenten und Böden am Beispiel einer geogenen Arsenomalie im Bereich der nördlichen Saualpe. – Unveröff. Ber. BVFA, Eigenforschungsauftrag G O 800, 13 S., Wien.
- GÖD, R. (1993): A carbonate-hosted native arsenic-realgar-orpiment mineralisation and the soil contamination caused by it, Saualpe/Eastern Alps/Austria. – Ber. Deut. Min. Ges., **1993/1**, 10, Stuttgart.
- GÖD, R. (1994): Zur Mineralogie und Geochemie einer karbonatgebundenen Arsenmineralisation, Saualpe, Kärnten. – Mitt. Öst. Min. Ges., **139**, 302–304, Wien.

- GÖD, R. (1994): Geogene Arsengehalte außergewöhnlichen Ausmaßes in Böden – ein Beitrag zur Diskussion um Grenzwerte von Spurenelementen in Böden. – Berg- und Hüttenm. Mh., **139/12**, 442–449, Wien.
- GÖD, R. (1996): Bericht über Mineralogisch-geochemische Untersuchung der Thoriumanomalie Gutau/OÖ. – Unveröff. Ber. BVFA, 16 S., Wien.
- GÖD, R. (2006): Preliminary Note on a Stratiform Arsenopyrite Mineralization in Quartzphyllites, Pretul-Alpe, Styria, Austria. – Anz. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., **137**, 3–5, Wien.
- GÖD, R. & BRANDSTÄTTER, F. (1999): Evidence for Goldbearing Propylitized Hercynian Granites, Moldanubicum, South Bohemian Massif, Austria. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **144**, 470–475, Wien.
- GÖD, R. & HEISS, G. (1998): Zum natürlichen Auftreten von Arsen in den Ostalpen. – Mitt. Öst. Min. Ges., **143**, 279–280, Wien.
- GÖD, R. & HEISS, G. (2007): Geology, Mineralogy and Geochemistry of a Metapelite-Hosted Stratiform Arsenopyrite Mineralization (Pretul Alm, Austria). – Jb. Geol. B.-A., **147**, 231–242, Wien.
- GÖD, R. & HEISS, G. (2008): Zur Geochemie des Arsens im Ostalpinen Altkristallin – Zusammenfassung neuerer Ergebnisse. – In: SCHEDL, A. (Red.): 30 Jahre Angewandte Geochemie in Österreich: Von der Prospektionsgeochemie zur Angewandten Umweltgeochemie: Fachsymposium Wien – Geologische Bundesanstalt 6.–7. November 2008. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 26–28, Wien.
- GÖD, R. & KOLLER, F. (1987): Molybdänführende Greisen in der südlichen Böhmischen Masse. – Mitt. Öst. Min. Ges., **132**, 87–101, Wien.
- GÖD, R. & KOLLER, F. (1989): Molybdenite-Magnetit Bearing Greisens Associated with Peraluminous Leucogranites, Nebelstein, Bohemian Massif (Austria). – Chemie der Erde, **49**, 185–200, Jena.
- GÖD, R. & ZEMANN, J. (2000): Native arsenic-realgar mineralization in marbles from Saualpe, Carinthia, Austria. – Mineralogy and Petrology, **70**, 37–53, Wien.
- GÖD, R., OBERLERCHER, G. & BRANDSTÄTTER, F. (1996): Zur Geochemie und Mineralogie eines Monazit führenden Granitkörpers im Südböhmischen Pluton (Gutau, Oberösterreich). – Jb. Geol. B.-A., **139**, 445–452, Wien.
- GÖD, R., HEISS, G. & KOLLER, F. (o.J.): Geochemistry of Tourmalinites – “Grobgneiss Complex”, Eastern Alps, Austria. – Unveröff. Ber., 23 S., Wien.
- GÖD, R., HEISS, G. & KOLLER, F. (2010): Geochemistry of Metapelite Hosted Tourmalinites, Eastern Alps, Austria – Zur Geochemie von Turmaliniten innerhalb der Hüllgesteine des Grobgneisskomplexes. – Jb. Geol. B.-A., **150**, 325–341, Wien.
- GOODCHILD, R. (1999): Belastung der Österreichischen Fließgewässer mit „Gefährlichen Stoffen“ (entspr. Richtlinie 76/464/EWG). – UBA Ber., **155**, 252 S., Wien.
- GOULD, L.P. (1979): Forschungsprojekt Kreuzeckgruppe: Zwischenbericht, März 1978/79: Untersuchung des Granodiorits bei Wöllatratten und lagerstättenkundliche Prospektion in der Kreuzeckgruppe. – Unveröff. Ber. Montanuniv. Leoben, Bund/ Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/78, 12 S., Linz.
- GOULD, L.P. (1980): Lagerstättenkundliche Übersichtsprospektion im oberen Raggatal, Kreuzeckgruppe, Kärnten, mit besonderer Berücksichtigung der Pegmatite. – Unveröff. Ber. Montanuniv. Leoben, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 15 S., Leoben.
- GOULD, L.P. (1980): Lagerstättenkundliche Untersuchungen im Teuchlital Kreuzeckgruppe, Kärnten. – Unveröff. Ber. Montanuniv. Leoben, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 23 S., Leoben.
- GOULD, L.P. (1981): Lagerstättenkundliche Bearbeitung des schichtgebundenen Stallhofen-Kiesvorkommens. – Unveröff. Ber. Montanuniv. Leoben, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/80, 17 S., Leoben.
- GOULD, L. (1981): Integrierte Rohstoffsuche in der Nordhälfte der Kreuzeckgruppe Kärnten/Österreich, mit besonderer Berücksichtigung von Wöllatratten. – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, 331 S., Leoben.
- GOULD, L.P. & WALLNER, P. (1980): Derzeitiger Stand der Scheeliteprospektion in der Kreuzeckgruppe. – Unveröff. Ber. Montanuniv. Leoben, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 10 S., Leoben.
- GRATZER, R. & KOLLER, F. (1983): Variszische und alpidische Intrusionen entlang der Periadriatischen Naht – ein geochemischer Vergleich. – Abh. Geol. B.-A., **49**, 137–146, Wien.
- GROHMANN, H. (1964): Beitrag zur Geochemie granitoider Gesteine Österreichs. Beitrag zur Geochemie granitoider Gesteine Österreichs. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 172 S., Wien.
- GROHMANN, H. (1965): Beitrag zur Geochemie österreichischer Granitoide. – TMPM, III.F., **10**, 436–474, Wien.
- GROHMANN, H. & SCHROLL, E. (1966): Zur Frage der Abhängigkeit der Konzentrationen seltener Elemente von der Altersfolge der granitoiden Gesteine der südlichen Böhmischen Masse. – TMPM, III.F., **11**, 48–357, Wien.
- GRÖSL, C. & BELOCKY, R. (2002): MINEO Alpine environment test site Remediation assessment and monitoring / impact mapping and modelling – Final report. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Projekt IST-1999-10337, 53 S., Wien.
- GRÖSL, C., BELOCKY, R. & AHL, R. (2002): MINEO Report on first remediation assessment and monitoring maps. Hyperspectral remote sensing study in mining areas. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 35 S., Wien.
- GROTJOHAN, H. (1978): Die Korrelation von Geochemie und Faziesdifferenzierung im erzhöflichen Muschelkalk (Mitteltrias) der Ostalpen. – Berliner Geowiss. Abh., **A/3**, 1–79, Berlin.
- GROTJOHAN, H. (1985): Correlation of Geochemistry and Facies Differentiation in the Ore-Bearing Muschelkalk (Middle Triassic) of the Eastern Alps. – Geol. Jb., **D 70**, 161–177, Hannover.
- GSTÖTTNER, E. & PEER, T. (1994): Untersuchung von umweltrelevanten Elementen in ausgewählten Hochmooren des Bundeslandes Salzburg. – Unveröff. Ber. Inst. f. Botanik, Univ. Salzburg, 63 S., Salzburg.
- HADITSCH, J.G. (1980): Nickelführende Ultramafite Österreichs unter besonderer Berücksichtigung einer nassmetallurgischen Verwertung der Dunite und Peridotite von Kraubath. – Niedrigprozentige Erzvorkommen als potentielle Lagerstätten. Jahrestagung der Fachsektion. – Schriftenr. GDMB Ges. Dt. Metallhütten- u. Bergleute, **35**, 95–118, Clausthal-Zellerfeld.
- HADITSCH, J.G. (1981): Geological and geochemical investigation of the Kraubath ultramafic massif (Styria, Austria). – Geol. Paläont. Mitt. Innsbr., **10**, 243–255, Innsbruck.
- HADITSCH, J.G., KRUMM, H.H. & PETERSEN-KRAUSS, D. (1981): Chemical characteristics of the Kraubath ultramafite, Styria, Austria. – UNESCO Int. Symp. on Metallogeny of Mafic and Ultramafic Complexes: The Eastern Mediterranean–Western Asia Area and its Comparison with Similar Environment in the World, 7–23, Athen.
- HADITSCH, J.G., KRÄINER, K., STINGL, V. & MOSTLER, H. (1985): Regionale Erfassung des Rohstoffpotentials, Raum westliches Arlberggebiet. – Unveröff. Ber. Univ. Innsbr., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt V-C-005a/83, 79 S., Innsbruck.

- HAGENGUTH, G. (1984): Geochemische und fazielle Untersuchungen an den Maxerbänken im Pb-Zn Bergbau von Bleiberg-Kreuth/Kärnten. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Öst., Sh. 1, 110 S., Wien.
- HALBWACHS, G. (1982): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein (eine interdisziplinäre Studie). – Carinthia II, Sh. 39, 367 S., Klagenfurt.
- HANESCH, M. & SCHOLGER, R. (o.J.): Monitoring of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. – Unveröff. Ber. Montanuniv. Leoben, 35 S., Leoben.
- HANESCH, M. & SCHOLGER, R. (2000): Analysis of heavy metal pollution in soils by means of non linear mapping and fuzzy C-means cluster analysis. – *Geologica Carpathica*, 51/3, 198–199, Bratislava.
- HANESCH, M. & SCHOLGER, R. (2002): Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. – *Environ. Geol.*, 42, 857–870, Berlin.
- HANESCH, M. & SCHOLGER, R. (2005): The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. – *Geophys. J. Intern.*, 161, 50–56, Oxford.
- HANESCH, M., SCHOLGER, R. & DEKKERS, M. (2001): The Application of Fuzzy C-Means Cluster Analysis and Non-Linear Mapping to a Soil Data Set for the Detection of Polluted Sites. – *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, 26/11–12, 885–891, London.
- HANESCH, M., RANTITSCH, G., HEMETSBERGER, S. & SCHOLGER, R. (2007): Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. – *Science of the Total Environment*, 382, 351–363, Amsterdam.
- HAUSBERGER, G. (1982): Regionale Scheelitprospektion in Osttirol. – *Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.A.*, 1, 53–60, Wien.
- HAUSBERGER, G. (1989): GIS and computer-mapping aspects of the Austrian stream-sediment geochemical sampling project. – *Short Course in Geology*, 10, 25–45, Washington.
- HAUSBERGER, G. (1994): Umweltgeochemie der Flußsedimente in Niederösterreich. Probenpunktdokumentation. – Unveröff. Ber., 6 S., Leoben.
- HAUSBERGER, G. (1995): Bericht über Kartendokumentation und Visualisierung der Verknüpfungen zwischen geochemischen, bodenkundlichen und geologischen Parametern, Geostatistik. – Unveröff. Ber., 64 S., 39 Kt., Leoben.
- HAUSBERGER, G. & DAVIS, J.C. (1996): Methoden zur Erstellung geochemischer Karten: Anwendung bei der Umweltuntersuchung in der Republik Österreich. – *Die Geowissenschaften*, 14, 423–428, Weinheim.
- HAUSBERGER, G. & HOCHREITER, M. (1996): Forschungsprojekt Geochemie der Bachsedimente in Niederösterreich. Bericht Geochemische Karten der Fraktionen <0,18mm und <0,04mm. Textband. – Unveröff. Ber., 27 S., Leoben.
- HAUSBERGER, G. & THALMANN, F. (1982): Westliche Grauwackenzone, Tauernfenster, Stubai Alpen (testweise Darstellung geochemischer Daten im Maßstab 1:1.000.000). – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 4 S., Eisenerz.
- HAUSBERGER, G., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & THALMANN, F. (1984): Geochemical prospecting activity in Austria by the Geological Survey and Voest-Alpine AG. – 12e colloque international d'exploration géochimique: 4e colloque sur les méthodes de prospection géochimique, Orleans – France. – 23/26 Avril 1987, 167, Orleans.
- HEIN, U.F. (1986): Zur Geochemie des Fluors im Nebengestein und Spurenelementfraktionierung in Fluoriten der kalkalpinen Pb-Zn-Lagerstätten. – *Berliner geowiss. Abh.*, A, 81, 119 S., Berlin.
- HEINISCH, H., HERTOGEN, J. & SCHLAEGEL, P. (1988): Ausgewählte Spurenelementdaten von metamorphen basischen Magmatiten aus der Nördlichen Grauwackenzone (Österreich). – *Jb. Geol. B.-A.*, 131, 267–278, Wien.
- HEINRICH, M., BRÜGGEMANN, H., DECKER, K., KLEIN, P., KOÇIU, A., KOLLMANN, W., LIPIARSKI, P., PAVLIK, W., PIRKL, H. & WIMMER, H. (1995): Wasserhöffigkeit und Wasserqualität sowie deren langfristige Sicherung in kalkalpinen Einzugsgebieten am Beispiel eines N-S-Streifens in den niederösterreichischen Kalkalpen zwischen Ybbsitz und Göstling. Bericht für das 3. Arbeitsjahr. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 264 S., Wien.
- HEINRICH, M., ATZENHOFER, B., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., KLEIN, P., LIPIARSKI, P., PERVESLER, P., PIRKL, H., ROETZEL, R., SCHUBERT, G., SHADLAU, S., SMOLIKOVA, L., SUPPER, R., THINSCHMIDT, A., TRÄXLER, B. & WIMMER-FREY, I. (1998): Ergänzende Erhebung und zusammenfassende Darstellung des geogenen Naturraumpotentials im Raum Geras – Retz – Horn – Hollabrunn (Bezirke Horn und Hollabrunn). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 4. Jahr, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/97, 62 S., Wien.
- HEINRICH, M., PIRKL, H., NEINAVAI, H., KLEIN, P. & WIMMER-FREY, I. (2005): Ergänzende Erhebung und zusammenfassende Darstellung des geogenen Naturraumpotentials im Bezirk Tulln. – Unveröff. Ber., 1. Jahr, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-061/2004, BiS. Geol. B.-A. / Wiss. Archiv, 23 S., Wien.
- HEINRICH, M., ATZENHOFER, B., DECKER, K., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., HOFMANN, T., ITA, A., KLEIN, P., KRENMAYR, H.-G., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S., PIRKL, H., RABEDER, J., REITNER, H., SCHATZ, M., TATZREITER, F., THINSCHMIDT, A., UNTERSWEIG, T. & WIMMER-FREY, I. (2006): Ergänzende Erhebung und zusammenfassende Darstellung des geogenen Naturraumpotentials im Bezirk Melk. – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., 3. Jahr, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-052/2001-03, 86 S., Wien.
- HEINRICH, M., KLEIN, P., LIPIARSKI, P., NEINAVAI, H., PFLEIDERER, S., PIRKL, H., REITNER, H. & WIMMER-FREY, I. (2007): Ergänzende Erhebung und zusammenfassende Darstellung des geogenen Naturraumpotentials im Bezirk Tulln. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 2. Jahr (2006), Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-061/2004-06, 43 S., Wien.
- HEINRICH, M., KLEIN, P., LIPIARSKI, P., NEINAVAI, H., PFLEIDERER, S., PIRKL, H., REITNER, H. & WIMMER-FREY, I. (2008): Ergänzende Erhebung und zusammenfassende Darstellung des geogenen Naturraumpotentials im Bezirk Tulln. – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., 3. Jahr (2007), Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-061/2004-06, 74 S., Wien.
- HEINZ, H. (1992): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/91, 72 S., Wien.
- HEINZ, H. (1993): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/92, BiS., Geol. B.-A. Wiss. Archiv, Nr. A 10073-R, 84 S., 107 S., Wien.
- HEINZ, H. & KLEIN, P. (1990): Korrelation radiometrischer und geochemischer Daten, Verifizierung und Quantifizierung der Aeroradiometrie. – *Ber. Geol. B.-A.*, 18, Endber. Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-016/86, 43 S., Wien.
- HEINZ, H., KLEIN, P. & SCHERMANN, O. (1990): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomaliehinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/88, 191 S., Wien.

- HELLERSCHMIDT-ALBER, J., HOBIGER, G., HOFMANN, T., HÜBL, G., KLEIN, P., LIPIARSKI, P., MOSHAMMER, B. & PAPP, H. (2000): Ergänzende Erhebung und zusammenfassende Darstellung des geogenen Naturraumpotentials im Raum Geras – Retz – Horn – Hollabrunn (Bezirke Horn und Hollabrunn). Geogenes Naturraumpotential Horn – Hollabrunn. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 5. Jahr, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/F/98, 99, 86 S., Wien.
- HEMETSBERGER, S. & SCHOLGER, R. (2006): Umweltmagnetik im Raum Trofaiach bis Eisenerz (steirische Eisenstrasse). – Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **135**, 13–24, Graz.
- HIRSCHMANN, G., GARBE, C.D. & TARKIAN, M. (1990): Geochemie von Schwarzschiefern und assoziierten Metavulkaniten im Bereich der Pyritlagerstätte Schwarzenbach bei Dienten (Salzburger Grauwackenzone, Österreich). – Geol. Rundschau, **79**, 417–432, Stuttgart.
- HOBIGER, G., KLEIN, P., DENK, J., GRÖSEL, K., HEGER, H., KOHAUT, S., KOLLMANN, W.F.H., LAMPL, H., LIPIARSKY, P., PIRKL, H., SCHEDL, A., SCHUBERT, G., SHADLAU, S. & WINTER, P. (2004): GEOHINT. Österreichweite Abschätzung von regionalisierten, hydrochemischen Hintergrundgehalten in oberflächennahen Grundwasserkörpern auf der Basis geochemischer und wasserchemischer Analysedaten zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (Geogene Hintergrundgehalte oberflächennaher Grundwasserkörper). – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., 97 S., Wien.
- HÖCK, V., KRAIGER, H. & LETTNER, H. (1993): Oceanic vs Continental Origin of the Paleozoic Habach Formation in the Vicinity of the Felbertal Scheelite Deposit (Hohe Tauern, Austria). A geochemical Approach. – Abh. Geol. B.-A., **49**, 79–95, Wien.
- HÖLL, R. (1970): Scheelitprospektion und Scheelitvorkommen im Bundesland Salzburg/Österreich. – Chemie der Erde, **28**, 185–203, Jena.
- HOLNSTEINER, R., AUGUSTIN-GYURITS, K., PIRKL, H., HAUSBERGER, G. & SPINDLER, P. (1998): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flußsedimente Niederösterreichs. – Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes: 4. Arbeitstagung des Bereiches Umwelt: Tagungsband (1998), 281–284, Wien.
- HOLUB, B.B. & MARSCHALLINGER, R. (1990): Die Zentralgneise im Hochalm-Ankogel-Massiv (Östliches Tauernfenster). Teil II: zirkontypologische und geochemische Charakteristik. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **82**, 19–44, Wien.
- HOLZER, H.F. (1985): Geochemische Untersuchungen von Graphitschiefern und Erstellung von Prospektionsparametern in Zusammenhang mit deren Sedimenten und Böden. – Unveröff. Ber. MUL, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-033/84, BiS. Geol. B.-A. / Wiss. Archiv, Nr. A 06171R, 14 S., Leoben.
- HOLZER, H.F. (1987): Endbericht zu geochemischen Prospektion auf Blei und Zink im Raum Wiesmath/N.Ö. – Unveröff. Ber. MUL, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-026/86, 6 S., Leoben.
- HOLZER, H.F. & STUMPL, E.F. (1979): Bericht über das Projekt No. 8: „Integrierte Rohstoffforschung in der Kreuzeckgruppe und anschließenden Bereichen der Gailtaler Alpen bzw. Reißbeckgruppe“ für das Jahr 1978. – Unveröff. Ber. MUL, 7 S., Leoben.
- HONSIG-ERLENBURG, W., POLZER, E. & TRAER, K. (1990): Kärntner Fließgewässergüteatlas Stand 1987/89, 281 S., Amt d. Kärnt. Landesreg./BMLF, Klagenfurt.
- HOSSEIN NIKBACHT, M. (1972): Geochemische Untersuchungen des Grazer Paläozoikums von Blei und Zink im Gebiete Rabenstein-Arzwaldgraben nordöstlich von Graz. – Unveröff. Dipl.-Arb. Mont. Hochsch. Leoben, 42 S., Leoben.
- HUBER, S. & ENGLISCH, M. (1997): Auswertung von Waldbodeninventuren im Bereich von Arge Alp und Arge Alpen-Adria. – Bericht FBVA i. A. der gemeinsamen Arbeitsgruppe „Waldschäden und Luftreinhaltung“ der Arbeitsgemeinschaft Alpenländer und der Arbeitsgemeinschaft Alpen-Adria, 190 S., Wien.
- HUSZ, G. (1987): Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986. – Lebensraum Vorarlberg. – Grundlagenarbeiten zu Natur und Umwelt, **2**, 112 S., Bregenz.
- IRFAN, M.I. (2012): Anthropogenic versus geogenic contamination of the Vordernbergerbach valley, Steiermark, Austria: a geochemical, mineralogical and geophysical study. – Unveröff. Diss. MUL, 144 S., Leoben.
- IVANOVA, G.F., KOROVAYKOV, P.A., AFANASYEVA, Z.B., PAKHOVSKAYA, V.M., KORZHANOVSKAYA, V.S., KOLESOV, G.M. & NIZHEGORODOVA, I.V. (1991): Geochemistry of the metamorphic rocks at the Felbertal stratified Scheelite deposit, Austrian Alps. – Geochemistry International, **28/12**, 1–13, New York.
- JANDA, I. (1959): Beitrag zur Geochemie des Graphites. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 112 S., Wien.
- JANDA, I. & SCHROLL, E. (1960): Geochemische Untersuchungen an Grafitgesteinen. – Int. Geol. Congr. Rep. 21st Sess. Norden, **1**, 40–53, Copenhagen.
- JANOUSEK, V. & FINGER, F. (2003): Whole-rock geochemistry of felsic granulites from the Gföhl Unit (Moldanubian Zone, Austria and Czech Republic): Petrogenetic implications. – Mitt. Öst. Min. Ges., **148**, 174–176, Wien.
- JOHNSON, C.C., DEMETRIADES, A., LOCUTURA, J. & OTTESEN, R.T. (Ed.) (2011): Mapping the Chemical Environment of Urban Areas. – 666 S., Oxford.
- JUNG, M. & HEISS, G. (2006): Hydrochemie von Brunnenwässern und ihr geologisch-geochemischer Hintergrund: eine Fallstudie in Ober- und Niederösterreich. – Beitr. Angew. Geol., Schriftenr. d. Departments, **11**, 47–70, Wien.
- JURITSCH, G. (1994): Salzburger Bodenkataster. Sonderuntersuchung am Bergbaustandort Ramingstein. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 9 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1994): Projekt Bergbau-Altstandorte. Bodenuntersuchungen im Bereich des ehemaligen Blei-Silber-Bergbaues und der Verhüttung in Ramingstein. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 16 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1994): Projekt Bergbau-Altstandorte. Bodenuntersuchungen im Bereich der ehem. Gold- und Silberschmelzhütte, Asbestfabrik, Aluminiumwerk in Lend. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 21 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1995): Bodenzustandsinventur: Boden- und Pflanzenuntersuchungen im Bereich von Bergbaualtstandorten. – 18. Arbeitstagung Bund-Bundesländer-Kooperation in Rohstoff-, Energie- und Umweltforschung 24. und 25. Oktober 1995 in Salzburg. – Amt d. Sbg. Landesreg., 8 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1995): Projekt Bergbau-Altstandorte. Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Golderz-Aufbereitung Naßfeld, Gasteinertal. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 22 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1995): Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Kupferhütte Mitterberghütten. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 30 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1998): Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Kupfer-Eisen-Zink-Blei-Bergbaue Radstadt-Filzmoos, Pongau. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 7 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1998): Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Blei-, Zink- und Kupferbergbaue Frommeralpe, St. Martin im Pongau. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 6 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1998): Bodenuntersuchungen im Bereich des ehemaligen Schwefel- und Kupferbergbaues Mühlbach-Wenns-Brennwald bei Bramberg. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 5 S., Salzburg.

- JURITSCH, G. (1998): Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Kupferbergbaue Larzenbach, Gielach und Igelsbach bei Hütttau. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 5 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1998): Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Kupfer- und Schwefelkies- Bergbaue und -Schmelzhütten Hüttschlag im Großarlal. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 10 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. (1998): Bodenuntersuchungen im Bereich der ehemaligen Kupfer- und Silberbergbaue Seekar in Obertauern. – Unveröff. Ber. (Arch. Sbg. Landesreg.), 9 S., Salzburg.
- JURITSCH, G. & WIENER, L. (1993): Salzburger Bodenzustandsinventur. – 237 S., Amt der Sbg. Landesreg., Abt. 4, Land- u. Forstwirtschaft, Salzburg.
- KASPEROWSKI, E. & RISS, A. (1992): Schwermetalle in Böden im Raum Arnoldstein. – UBA-IB, **355**, 37 S., Wien.
- KASPEROWSKI, E. & RISS, A. (1993): Schwermetalle in Böden im Raum Arnoldstein. – UBA-Monogr., **33**, 155 S., Wien.
- KAZDA, M., GLATZEL, G. & LINDBNER, L. (1986): Schwermetallanreicherung und -mobilität im Waldboden. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **79**, 131–142, Wien.
- KHALILI, H. (1967): Zur Geochemie der Pegmatite des Kärntner Altkristallins. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 137 S., Wien.
- KHALILI, H. (1972): Zur Geochemie einiger Pegmatite der Ostalpen. – TMPM, III.F., **18**, 79–104, Wien.
- KIESL, W. (1989): Geochemischer Beitrag zur Genese der Talk/Magnesitlagerstätte Rabenwald. – Mitt. Öst. Min. Ges., **134**, 17–31, Wien.
- KIESL, W., WIESENER, H. & KLUGER, F. (1983): Untersuchungen des Vorkommens der Seltenen Erden und von Thorium in Gesteinen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselfensers. – Sitz.-Ber. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abt. I, **192**, 1–20, Wien.
- KIESL, W., KLUGER, F. & WIESENER, H. (1986): Petrology and Geochemistry of selected talc deposits in the Eastern Alps. – In: LINK-CRAIG, JAMES R. (Ed.): Mineral Paragenesis. – Theophrastus Publ. S.A., 649–664, Athens.
- KIESL, W., KOEBERL, C. & GÖTZINGER, M.A. (1990): Geochemistry of magnesites and dolomites in the Oberdorf/Laming (Austria) deposit and implications for their origin. – Geol. Rundschau, **79**, 327–335, Stuttgart.
- KILIAN, W. (1982): Waldstandorte und Böden sowie deren Schwermetallbelastung im Immissionsgebiet Arnoldstein. – Carinthia II, Sh. **39**, 325–351, Klagenfurt.
- KILIAN, W. & MAJER, C. (1990): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur: Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme. Teilprojekt des Waldschadenbeobachtungssystems der FBVA (Projekt G7). – FBVA-Berichte, Sonderheft, 58 S., Wien.
- KIRCHNER, E., PEER, T. & LETTNER, H. (1992): Langzeitverhalten von Radiocaesium in Almböden Salzburgs. – Unveröff. Ber. Univ. Salzburg, Bund/Bundesländer-Projekt S-U-005/91, 35 S., Salzburg.
- KISCH, G. (2002): Untersuchungen zum Schwermetallgehalt von Sedimenten der Donauauen unterhalb Wiens. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 113 S., Wien.
- KLEIN, P. & HEINZ, H. (1987): Korrelation radiometrischer und geochemischer Daten (Verifizierung und Quantifizierung der Aeroradiometrie). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-015/86, 7 S., Wien.
- KLEIN, P. & PIRKL, H. (1986): Schwermetalle in Böden. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **79**, 143–162, Wien.
- KLEIN, P. & SCHEDL, A. (2008): Geochemischer Atlas von Österreich – In: HOFMANN, T. & SCHÖNLAUB, H.P. (Hrsg.): Geo-Atlas Österreich: Die Vielfalt des geologischen Untergrundes, 40–41, Wien.
- KLEIN, P. & SCHERMANN, O. (1993): Ergebnisbilanz Steirischer Rohstoffforschung 1974–1991, Teilbericht Geochemische Basisaufnahme. – Unveröff. Teilber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-092/92, 23 S., Wien.
- KLEIN, P., PIRKL, H. & SCHEDL, A. (2003): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Vorarlbergs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Vorarlbergs“). – Unveröff. Jahresber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt VA-19, 16 S., Wien.
- KLEIN, P., PIRKL, H., SCHEDL, A. & NEINAVAI, H. (2004): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Vorarlbergs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Vorarlbergs“). – Unveröff. Jahresber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt VA-19, 32 S., Wien.
- KLEIN, P., PIRKL, H., SCHEDL, A., NEINAVAI, H. & ATZENHOFER, B. (2005): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Kärnten“). – Unveröff. Jahresber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-30, 22 S., Wien.
- KLEIN, P., PIRKL, H., SCHEDL, A., HASLINGER, E., GESSELBAUER, W., DENK, W., PÖPPEL, L., NEINAVAI, H., LIPIARSKI, P., REITNER, H., PFLEIDERER, S. & ATZENHOFER, B. (2008): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Steiermark“). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresber. 2007, Bund/ Bundesländer-Rohstoffprojekt St-C-076, 25 S., Wien.
- KLEIN, P., SCHEDL, A., PIRKL, H., PFLEIDERER, S., HASLINGER, E., NEINAVAI, H. (2008): Umweltgeochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Kärntens. – J. of Alp. Geol. (Pangeo 2008: Kurzfassungen und Abstracts), **49**, 54, Wien.
- KLEIN, P., SCHEDL, A., PIRKL, H., PFLEIDERER, S., HASLINGER, E. & NEINAVAI, H. (2008): Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 47, Wien.
- KLEINDL, F., HAMEDINGER, G., WEBER, L., POLEGEG, S. & PUNZENGRUBER, K. (1981): Nickelprospektion im Gebiet Naintsch, Oststeiermark. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-016/80, 49 S., Leoben.
- KODINA, L.A., BOGATCHEVA, M.P. & LOBITZER, H. (1988): An Organic Geochemical Study of Austrian Bituminous Rocks. – Jb. Geol. B.-A., **131**, 291–300, Wien.
- KOHLMAIER, C. & NEINAVAI, H. (1999): Bachsedimentgeochemie Salzburg. Probenahme 1999. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 16 S., Eisenerz.
- KOHLMAIER, C. & NEINAVAI, H. (1999): Bachsedimentgeochemie Tirol. Probenahme 1999. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 14 S., Eisenerz.
- KOHLMAIER, C., NEINAVAI, H. & PIRKL, H. (1998): Flußsedimentgeochemie Oberösterreich Fraktion < 180 µ: Primärdokumentation und erste Auswertungsschritte. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 15 S., Eisenerz.
- KOLLER, F. (1985): Petrologie und Geochemie der Ophiolite des Penninikums am Alpenostrand. – Jb. Geol. B.-A., **128**, 83–150, Wien.

- KOLLER, F. & GÖD, R. (1990): Neue Beobachtungen an den Granitkomplexen des nördlichen Waldviertels (Moldanubikum). – In: HÖCK, V. & STEINHAUSER, P. (Eds.): Erster Bericht über das Schwerpunktpunktprojekt S 47-GEO Präalpidische Kruste in Österreich, 169–183, ZAMG, Wien.
- KOLLER, F., GÖTZINGER, M., NEUMAYER, R. & NIEDERMAYER, G. (1983): Beiträge zur Mineralogie und Geochemie der Pegmatite des St. Radegunder Kristallins und der Gleinalpe. – Archiv f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **3**, 47–65, Wien.
- KOLLER, F., SCHARBERT, S. & HÖCK, V. (1993): Neue Untersuchungsergebnisse zur Genese einiger Granite des Südböhmischen Plutons: Projekte 24709, S4702 und S4704. – Mitt. Öst. Min. Ges., **138**, 177–195, Wien.
- KOLLER, F., GÖD, R., HÖGELSBERGER, H. & KOEBERL, C. (1994): Molybdenite Mineralization Related to Granites of the Austrian Part of the South Bohemian Pluton (Moldanubicum) – A Comparison. – In: SELTMANN, R., KÄMPF, H. & MÖLLER, P. (Eds.): Metallogeny of Collisional Orogens, 318–326, Czech Geol. Surv., Prag.
- KOLLER, F., GÖD, R. & SLAPANSKY, P. (1998): Nebelstein granite suite. – In: BREITER, K. & SCHARBERT, S. (Ed.): Genetic Significance of Phosphorus in Fractionated Granites: International Conference Czech Republic, Perlsak, September 21–24, 1998, Excursion Guide, 129–135, Prague.
- KOMPOSCH, D. (1965): Geologie und geochemische Spurenmetallverteilung von Zink in den östlichen Gailtaler Alpen. – Unveröff. Diss. Montan. Hochschule Leoben, 120 S., Leoben.
- KORKISCH, J., KURAT, G., NIEDERMAYER, G. & SEEMANN, R. (1974): Zur Geochemie der postvariszischen Basis-Serien im westlichen Drauzug, Kärnten-Osttirol. – Carinthia II, **84** (Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., **164**), 87–98, Klagenfurt.
- KOSTELKA, L. (1962): Geochemische Untersuchungen im alpinen Buntmetallbergbau. – Carinthia II, **72** (Mitt. Naturwiss. Ver. f. Ktn., **152**), 97–105, Klagenfurt.
- KOSTELKA, L. (1962): Die geochemische Prospektion im alpinen Erzbergbau. (Vortrag am 14.12.1962, Geologische Gesellschaft Wien). – Unveröff. Ber. (Landesarchiv Kärnten – BBU-Archiv), 18 S., Bleiberg.
- KOSTELKA, L. (1963): Die geochemische Prospektion im alpinen Erzbergbau. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **108**, 412–415, Wien.
- KOSTELKA, L. (1972): Prospektierungs- und Erschließungsmethoden im österreichischen Blei-, Zink- und Antimonbergbau. – ISMIDA-Proceedings of the 2nd International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps. – Geologija, **15**, 405–416, Ljubljana.
- KRABB, V. & PIBER, G. (1986): Geochemische Prospektion auf Blei und Zink im Raum Wiesmath/NÖ. – Unveröff. Meldearb. Montan-univ. Leoben, 4 S., Leoben.
- KRAINER, K. (1985): Beitrag zur Mikrofazies, Geochemie und Paläogeographie der Raibler Schichten der östlichen Gailtaler Alpen (Raum Bleiberg – Rubland) und des Karwendel (Raum Lafatsch/Tirol). – Arch. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **6**, 129–142, Wien.
- KRAINER, K., STINGL, V. & MOSTLER, H. (1980): Erzlagerstätten der postvariszischen Transgressionsserie im Arlberggebiet. – Unveröff. Ber. Univ. Innsbr., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-A-007/79, 50 S., Innsbruck.
- KRALIK, M. (1994): Teil 1 Stauraumsedimente als „Geochronometer“ von Schad- oder Rohstoffen, Aschach (Österreich): Moderne Sedimentologie, Mineralogie, Geochemie und Verwertbarkeit der Donausedimente unter besonderer Berücksichtigung der quantitativen (Mineral-)phasenanalyse. Teil 2: Illit Wachstum: Diagenese-Metamorphose in Karbonat- und Tongesteinen in den Nördlichen Kalkalpen: Mineralogie und Isotopengeologie (Rb-Sr, K-Ar und C-O). – Unveröff. Habil.-Schr. Univ. Wien, Teil 1: 50 S., Teil 2: 67 S., Wien.
- KRALIK, M. (1999): A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. – Applied Geochemistry, **14**, 807–816, Amsterdam.
- KRALIK, M. (1999): C/7 Sedimentuntersuchungen. – In: BMLFUW / WASSERWIRTSCHAFTSKATASTER (Hrsg.): Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 1998, 173–204, BMLFUW, Wien.
- KRALIK, M. (2000): Environmental Geology in Austria. – Mitt. Geol. Ges., **92**, 313–335, Wien.
- KRALIK, M. (2001): C/4 Sedimentuntersuchungen. – In: BMLFUW/ WASSERWIRTSCHAFTSKATASTER (Hrsg.): Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2000, 175–194, BMLFUW, Wien.
- KRALIK, M. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1987): Sedimentologie und Mineralogie des Donauraumes Aschach. – In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF THEORETICAL AND APPLIED LIMNOLOGY | INTERNATIONAL WORKING GROUP ON DANUBE RESEARCH (Ed.): 26. Arbeitstagung der Internat. Arbeitsgem. Donauforsch., 142–146, Passau.
- KRALIK, M. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1993): Reservoir Sludges – Raw Material or Waste? Minerals and Organic Components as Criteria to Evaluate Contaminations in Danube Sediments. – In: YU, B. & FIELDING, C.R. (Ed.): Fielding 5th International Conference on Fluvial Sedimentology: Modern and Ancient Rivers – Their Importance to Mankind, University of Queensland, Brisbane, Australia, 5–9 July 1993: Conference Proceedings – Keynote Addresses and Abstracts, 65, Brisbane.
- KRALIK, M. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1994): Stauraumfeinsedimente als „Geochronometer“ von Schad- oder Rohstoffen: Moderne Sedimentologie, Mineralogie, Geochemie und Verwertung der Donausedimente von Aschach (Oberösterreich). – Jubiläumsschrift 20 Jahre geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, **2**, 437–464, Wien.
- KRALIK, M. & KIESL, W. (1994): Geochemische Untersuchungen an Spatmagnesiten der östlichen Grauwackenzone. – Mitt. Öst. Min. Ges., **139**, 324–327, Wien.
- KRALIK, M. & SAGER, M. (1986): Schwermetalle in Donau- und Donaukanalsedimenten in und östlich von Wien. Eine Vorstudie. – Öst. Wasserwirtschaft, **38**, 8–14, Wien.
- KRALIK, M. & SAGER, M. (1986): Umweltindikator „Schwermetalle“: Gesamtgehalte und Mobilität in österreichischen Donausedimenten. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **79**, 77–90, Wien.
- KRALIK, M., AUGUSTIN-GYURITS, K., SAGER, M. & KAPPEL, F. (1986): Donausedimente in Stauräumen und als Schwermetallbelastungsindikator. – In: BUNDESVERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT / GEOTECHNISCHES INSTITUT (Hrsg.): Arbeitstagung Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes, Geotechnisches Institut, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien, 28. und 29. April 1986: Kurzfassungen, 17–18, Wien.
- KRALIK, M., AUGUSTIN-GYURITS, K., DOLEZEL, P., KAPPEL, F., MÜLLER, N. & SAGER, M. (1990): Schwebstoff und Schwermetalltransport der Donau am Einlaufbauwerk der „Neuen Donau“ Wien/Österreich. – In: INTERNATIONALE ARBEITSGEMEINSCHAFT DONAUFORSCHUNG (Hrsg.): 28. Arbeitstagung der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung, 119–123, Varna/Bulgarien.
- KRALIK, M., FENNINGER, A., FLATSCHART, R., MÜLLER, G., STATTEGER, K. & WIMMER, W. (1990): Vergleichsstudie Feldaist, Krumme Steyerling: Probenahmemethodik von Bachsedimenten für Umweltfragen. – In: BUNDESVERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT/ GEOTECHNISCHES INSTITUT (Hrsg.): Arbeitstagung Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes, 27, Wien.
- KRANZ, J.R. (1970): Petrographische und geochemische Untersuchungen von Nebengestein und Vererzung der Blei-Zink-Vorkommen Gstütalpe/Lech in Vorarlberg. – Unveröff. Dipl.-Arb. FU Berlin, 60 S., Berlin.
- KRANZ, J.R. (1974): Geochemische Charakteristik des erzhöflichen Oberen Wettersteinkalkes (alpine Mitteltrias) der Ostalpen. – Unveröff. Diss. FU Berlin, 219 S., Berlin.

- KRAUSS, D. (1976): I. Zwischenbericht zur geochemischen Analyse der Gesteine des Serpentinorkommens südlich von St. Stefan ob Leoben (Steiermark) im Rahmen des Programms: „Rohstoffsicherung der Steiermark, Teilprojekt Kraubath“. Die Gehalte und die Verteilung der Elemente Mg, Fe, Ca und Ni. – Unveröff. Ber. VALL, 6 S., Leoben
- KRAXNER, M. (1995): Untersuchung von Schwermetallgehalten in Sedimenten von Fließgewässern am Beispiel der Raab (Steiermark). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Graz, 139 S., Graz.
- KREINER, P. (1998): Wiener Bodenbericht 1997. Untersuchung des Wiener Bodens auf Schwermetalle. – Beiträge zum Umweltschutz, **48**, 30 S., Wien.
- KREINER, P. (2001): Wiener Bodenbericht 2000. Untersuchung des Wiener Bodens auf Schwermetalle. – Beiträge zum Umweltschutz, **65**, 11 S., Wien.
- KREINER, P. (2004): Wiener Bodenbericht 2003. Untersuchung des Wiener Bodens auf Schwermetalle und polyaromatische Kohlenwasserstoffe. – Beiträge zum Umweltschutz, **70**, 14 S., Wien.
- KREINER, P., RADAUSCHER, V. & LOBENSCHUSS, A. (1993): Untersuchung des Wiener Bodens auf Blei und Cadmium. – 12 S., 1 Anh., MA 22 / Umweltschutz, Wien.
- KREINER, P., KUBU, S., LOBENSCHUSS, A. & TARMANN, V. (1995): Flächendeckende Schwermetalluntersuchung des Wiener Bodens an 257 Stellen, 1994. – 9 S., 1 Anh., MA 22 / Umweltschutz, Wien.
- KRETZSCHMAR, T. (1989): Zur Petrographie und Geochemie des Blasseneckporphyroids nördlich von Wald am Schoberpaß (Steiermark, Österreich). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Tübingen, 91 S., Tübingen.
- KUDJELKA, A. (2003): Umweltgeochemische Untersuchungen an Bergwerkshalden der Steiermark (Österreich). – 115 S., Stuttgart.
- KURZ, B. (2009): Zn-Fe-Pb-Cu-Mineralisationen in Marmoren der Bunten Serie, Böhmisches Masse, Niederösterreich. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 147 S., Wien.
- KÜRZL, H. (1983): Subregionale montangeologische Untersuchungen von Sulfidindikationen und Pb-Zn Bachsediment Geochemie Anomalien im Bereich Flattnitz, Kärnten (Zwischenbericht). – Unveröff. Ber. FGJ, 41 S., Leoben.
- KÜRZL, H. (1984): Subregionale montangeologische Untersuchungen von Sulfidindikationen und Pb-Zn Bachsediment Geochemie Anomalien im Bereich Flattnitz, Kärnten (Endbericht). – Unveröff. Ber. FGJ, 96 S., Leoben.
- KÜRZL, H. (1984): Naturraumgeochemie – Rohstoffindikationen – Umweltkontrolle: Anwendung robuster multivariater Verfahren in der statistischen Datenanalyse – am Beispiel der Schladminger Tauern: Aus dem Programm: Geochemische Basisaufnahme des österreichischen Bundesgebietes. – Unveröff. Ber. FGJ, 12 S., Leoben.
- KÜRZL, H. (1988): Exploratory data analysis: recent advances for the interpretation of geochemical data. – J. Geochem. Explor., **30/31**, 309–322, Amsterdam.
- KÜRZL, H. (1988): Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes. Primärauswertung der Bachsedimentgeochemie. – Unveröff. Ber. FGJ, Proj. ÜLG-18, 10, 19, 8, 56, 3 S., Leoben.
- KÜRZL, H. (1989): Data analysis and geochemical mapping for the regional stream sediment Survey of Austria. – J. Geochem. Explor., **32/33/34**, 349–351, Amsterdam.
- KÜRZL, H. (1989): Multivariate analysis of regional stream sediment data: a case study from the Graz Paleozoic. – Terra abstracts, **1-2**, 47–48, Oxford.
- KÜRZL, H., DUTTER, R., PEER, H., REIMANN, C., VINZENZ, M., WASSERMANN, W., WURZER, F. & WOLFBAUER, J. (1985): Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes: EDV-gestützte Primärauswertung der Teilprojekte KC6F/82, SC2c/F/82, StC1d/82, TC4b/82. – Unveröff. Ber. FGJ, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-006/82F, S-C-002c/82F, St-C-001d/82, T-C-004b/82, 4 Bde., 3 Anl.-Bde., 3 Anh.-Bde., Leoben.
- KÜRZL, H., DUTTER, R., PEER, H., REIMANN, C., VINZENZ, M., WASSERMANN, W., WURZER, F. & WOLFBAUER, J. (1985): Datenanalyse für regionale geochemische Untersuchungen – eingesetzte statistische Methoden und Auswertungssystem. – Unveröff. Ber. FGJ, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-006/82, S-C-002c/82, St-C-001d/82, T-C-004b/82, 140 S., Leoben.
- KÜRZL, H., DUTTER, R., PEER, H., REIMANN, C., VINZENZ, M., WASSERMANN, W., WURZER, F. & WOLFBAUER, J. (1985): Primärauswertung des Gebietes Niedere Tauern – Kristallin. – Unveröff. Ber. FGJ, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-006/82, S-C-002c/82, St-C-001d/82, T-C-004b/82, 278 S., Leoben.
- KÜRZL, H., DUTTER, R., PEER, H., REIMANN, C., VINZENZ, M., WASSERMANN, W., WURZER, F. & WOLFBAUER, J. (1985): Primärauswertung des Gebietes: Östliche Grauwackenzone. – Unveröff. Ber. FGJ, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-006/82, S-C-002c/82, St-C-001d/82, T-C-004b/82, 263 S., Leoben.
- KÜRZL, H., DUTTER, R., PEER, H., REIMANN, C., VINZENZ, M., WASSERMANN, W., WURZER, F. & WOLFBAUER, J. (1985): Primärauswertung des kärntner-steirischen Nockgebietes und Muralpen. – Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes: EDV-gestützte Primärauswertung der Teilprojekte KC6F/82, SC2c/F/82, STS1d/82, TC4b/82: Endbericht. – Unveröff. Ber. FGJ, 284 S., Leoben.
- KÜRZL, H., REIMANN, C. & WURZER, F. (1986): Die Identifikation von Umweltbelastungen aus regionalen Geochemiedaten – Möglichkeiten der multivariaten Datenauswertung. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **79**, 91–106, Wien.
- KÜRZL, H., SCHROLL, E. & WEINZIERL, O. (1993): Geochemistry of carbonate hosted Pb-Zn-deposits in respect to classification by multivariate data. – Workshop MVT Proceedings, Campus Jussieu Soc. Geol. de France, 121–124, Paris.
- KUSCHNIG, G. (1986): Geochemie und Petrologie der Amphibolite der Bunten Serie. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 97 S., Wien.
- KWASNITSCHKA, J. (1983): Die polymetallische Sulfidvererzung Bärnbach im Hollersbachtal, Land Salzburg, Österreich. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 85 S., Leoben.
- KWASNITSCHKA, U. (1983): Montangeologische Untersuchungen an der Blei-Zink-Flußspatvererzung der Achsel- und Flecktruhalm am Nordrand der Hohen Tauern, Land Salzburg, Österreich. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 106 S., Leoben.
- LABUT, P.C. (1979): Beitrag zur Feststellung der natürlichen Schwermetallgehalte in Quell- und Oberflächengewässern der Bergbauggebiete Niederösterreichs. – Unveröff. Dipl.-Arb. BOKU, 106 S., Wien.
- LAHUSEN, L. (1969): Die schicht- und zeitgebundenen Antimonit-Scheelit-Vorkommen und Zinnobervererzungen der Kreuzeck- und Goldeckgruppe in Kärnten und Osttirol, Österreich. – Diss. Univ. München, 139 S., München.
- LANGER, V. (1987): Stratigraphie, Petrographie und Geochemie der Norischen Decke nördlich von Kalwang (Eisenerzer Alpen/Österreich). – Unveröff. Dipl.-Arb. Tübingen, 87 S., Tübingen.
- LASSNIG, K. (2004): Mineralisation und Petrogenese des Gebietes südlich von Krieglach, Fischbacher Alpen, Steiermark. – Unveröff. B. Sc. Thesis, Karl-Franzens Univ. Graz, 48 S., Graz.
- LATAL, C. (1998): Umweltgeologische Untersuchungen an ausgewählten Bergbaustandorten des Grazer Paläozoikums (Großstübing, Guggenbach). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Graz, 85 S., Graz.

- LAVRIČ, T. (2001): Zusammensetzung und Quellen von Aerosolen (PM10) im Grenzraum Kärnten – Slowenien – Italien. – Unveröff. Diss. Techn. Univ. Wien, 128 S., Wien.
- LEITGEB, J. (1989): Geochemische Prospektion auf Metalle in den miozänen Vulkaniten des Gleichenberger Massivs. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 143 S., Leoben.
- LELKES-FELVÁRI, G., LOBITZER, H. & MOSHAMMER, B. (1999): Beiträge zur Petrologie, Geochemie und Weißmetrik des Sölker und Gumpeneck-Marmors (Niedere Tauern, Steiermark). – Abh. Geol. B.-A., **56/1**, 213–228, Wien.
- LIMA, A., PLANT, J.A., DE VIVO, B., TARVAINEN, T., ALBANESE, S. & CICHELA, D. (2008): Interpolation methods for geochemical maps: a comparative study using arsenic data from European stream waters. – *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, **8**, 41–48, London.
- LIPIARSKI, P., PIRKL, H. & SCHEDL, A. (2003): Aufbereitung georelevanter Kärntner Datensätze zum Eintrag in das Landes-Geoinformationssystem GinS im Hinblick auf eine Bewältigung angewandt-geologischer, speziell rohstoffgeologischer Fragestellungen und die zukünftige geochemische Bearbeitung („Metadaten-dokumentation Geochemie Kärnten“) Projekt K-C-026. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 31 S., Wien.
- LIPIARSKI, P., NEINAVAI, H. & SCHEDL, A. (2009): Geochemical, mineralogical and mining databases at the Geological Survey of Austria. – *Vijesti HGD*, **46/2**, 18–19, Zagreb.
- LIPIARSKI, P., SCHEDL, A. & PFLEIDERER, S. (2012): Fachmodule zum Aufbau eines BodenInformationsSystems für das Bundesland Kärnten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Projekt KC-35 BIS-Kärnten, 73 S., Wien.
- LOBITZER, H. & GÉZA, C. (1994): Fazies und Geochemie ausgewählter Vorkommen bituminöser und kerogenreicher Gesteine Österreichs. – *Jubiläumsschrift 20 Jahre geol. Zusammenarbeit Österreich-Ungarn*, 465–483, Wien.
- LOBITZER, H., SOLT, G. & KODINA, L.A. (1988): Fazies, Geochemie und Stratigraphie ausgewählter Vorkommen österreichischer organisch reicher Gesteine: ein Zwischenbericht. – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbr.*, **15**, 85–107, Innsbruck.
- LUKAS, W. (1969): Geochemische und emissions-spektrographische Untersuchungen an der Antimonitlagerstätte Schlaining (Burgenland). – *Veröff. d. Univ. Innsbr.*, **26** (Alpenkundliche Studien, **8**), 34 S., Innsbruck.
- MACK, E. (1957): Geochemische Untersuchungen am Nebengestein und an den Begleitwässern ostalpiner Blei-Zink-Lagerstätten. – Unveröff. Diss. Mont. Hochsch. Leoben, 115 S., Leoben.
- MACK, E. (1958): Geochemische Untersuchungen am Nebengestein und an den Begleitwässern ostalpiner Blei-Zink-Lagerstätten. – *Berg- u. Hüttenm. Mh.*, **103/3**, 51–58, Wien.
- MACK, E. & GILG, K. (1955): Die geochemische Untersuchung des Gebietes von Kreuzental-Mitterberg. Geologische Kartierung des Altenberges. – Unveröff. Dipl.-Arb. Mont. Hochsch. Leoben, 45 S., Leoben.
- MAIER, A. (1996): Schwermetallbindungsformen in Böden der Bergbaustandorte Walchen und Flatschach, Steiermark. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 86 S., Leoben.
- MAIER, G. & SCHOLGER, R. (2004): Demonstration of connection between pollutant dispersal and atmospheric boundary layers by use of magnetic susceptibility mapping, St. Jacob (Austria). – *Physics and Chemistry of the Earth*, **29**, 997–1009, Amsterdam.
- MALECKI, G. (1988): Überprüfung von Antimonanomalien im Raum E Goberling (NW Schlaining). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 4 S., Wien.
- MALECKI, G., SCHERMANN, O., HEINRICH, M., PIRKL, H.R., ZEZULA, G. & KLEIN, P. (1979): Flußspatprospektion in der weiteren Umgebung des Bergbaues Achselalpe-Flecktrogalpe (Salzburg). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-A-003/78, 19 S., Wien.
- MALECKI, G., HEINRICH, M., KOLLMANN, W. & SCHÄFFER, G. (1987): Rohstoffpotential Rechnitzer Schieferinsel und Vorland. – *Ber. Geol. B.-A.*, **11**, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt B-C-006a/84, 209 S., Wien.
- MALECKI, G., ADLER, A., HEINRICH, M. & KLEIN, P. (1989): Systematische Untersuchung von Rohstoffvorkommen zur Optimierung der Wertschöpfung. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-025/88, 192 S., Wien.
- MALI, H. (1996): Bildungsbedingungen von Quecksilber- und Antimonlagerstätten im Ostalpin (Österreich). – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, 215 S., Leoben.
- MANSER, P. (1991): Untersuchung der Schwermetallgehalte in den Sedimenten der Mur. – Unveröff. Diss. Univ. Graz, 305 S., Graz.
- MANSER, P., PLASS, N. & SCHOLGER, R. (1989): Umweltgeologische Untersuchungen an rezenten Sedimenten der Mur (Steiermark, Österreich). – *Geol. Paläont. Mitt. Innsbr.*, **16**, 77–78, Innsbruck.
- MARTIYA SADEGHI, M., PETROSINO, P., LADENBERGER, A., ALBANESE, S., ANDERSSON, M., MORRIS, G., ANNAMARIA LIMA, A., DE VIVO, B. & THE GEMAS PROJECT TEAM (2013): Ce, La and Y concentrations in agricultural and grazing-land soils of Europe. – *J. Geochem. Explor.*, **133**, 202–213, Amsterdam.
- MATURA, A. (1988): Rohstoffpotential Östliches Mühlviertel. Projekt OC 6a / 86-87, Endbericht. – *Ber. Geol. B.-A.*, **14**, 241 S., Wien.
- MAUCHER, A. & HÖLL, R. (1968): Die Bedeutung geochemisch-stratigraphischer Bezugshorizonte für die Altersstellung der Antimonitlagerstätte von Schlaining im Burgenland. – *Mineralium Deposita*, **3**, 272–285, Berlin.
- MAYER, A. (2004): Geologische und geochemische Untersuchungen an Amphiboliten im Raum Waidhofen (niederösterreichisches Moldanubikum). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Salzburg, 92 S., Salzburg.
- MELCHER, F. (1990): Erzmineralparagenesen und Geochemie an der Basis des Serleskammes, Brennermesozoikum/Tirol: Ein Beitrag zur Klärung von Schwermetallanomalien in alpinen Bachsedimenten. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Innsbr., 218 S., Innsbruck.
- METALLGESELLSCHAFT AG (1980): Scheelitexploration Wagrain / Salzburg (Österreich). Abschlußbericht 1980. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 24 S., Frankfurt/Main.
- MEYER, J.W. (1980): Bericht über geologisch-petrographische Detailuntersuchungen in den Bereichen Strieden – Knappenstube, Kaser Wiesel, Intrusivstock Wölltratten der Kreuzeckgruppe (Kärnten). – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 52 S., Wien.
- MEYER, J.W. (1981): Bericht über geologisch-petrographische Detailuntersuchungen in den Bereichen Radberger – Finkebner, Alm – Leßnig Bach. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/80, 45 S., Wien.
- MEYER, J.W., WEBER, L., APOLLONER, V., WALLNER, P., WARDEN, A.J., PESTAL, G., KRÄINER, B., ERTL, V., RADSCHIENER, H. & CERNY, I. (1983): Integrierte Rohstoffforschung in der Kreuzeckgruppe und anschließenden Bereichen der Gailtaler Alpen bzw. Reißbeckgruppe. Ergänzung der geologischen Aufnahme. – Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/81, 3 S., 10 Teilberichte, Bad Bleiberg.
- MIELKE, J.S. (1979): Composition of the Earth's crust and distribution of elements. – In: SIEGEL, F.R. (Ed.): Review of research on modern problems in geochemistry. – *Earth Sciences*, **16**, 13–37, Paris.

- MILLEN, B.M.J. (2003): Aspects of the Hydrology of a Mining Region with a Focus on the Antimony Content of the Spring-water, Eiblschrofen Massif, Schwaz, Tirol, Austria. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **94**, 139–156, Wien.
- MINEREX (1983): Scheelit/Saualpe, Kärnten. Abschlussbericht. – Unveröff. Ber. MINEREX, 7 S., Wien.
- MINEREX (1983): Scheelit/Stub-Gleinalpe, Steiermark. Bericht. – Unveröff. Ber. MINEREX, 2 S., Wien.
- MINEREX (1983): Scheelit/Mühlbach, Salzburg. Bericht. – Unveröff. Ber. MINEREX, 6 S., Wien.
- MINEREX (1983): Scheelit/Wietzen, Niederösterreich. Abschlussbericht. – Unveröff. Ber. MINEREX, 4 S., Wien.
- MINEREX (1984): Lithium Koralpe. Prefeasibility-Studie. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 57 S., Wien.
- MINEREX (1984): Projekt Nebelstein. Statusbericht 1983. – Unveröff. Ber. MINEREX, 22 S., Wien.
- MINEREX (1984): Moldanubikum. Statusbericht 1984. – Unveröff. Ber. MINEREX, 22 S., Wien.
- MINEREX (1984): Moldanubikum. Statusbericht Stand Ende 1983. – Unveröff. Ber. MINEREX, 24 S., Wien.
- MINEREX (1984): Moldanubikum. Statusbericht Stand Ende 1983. – Unveröff. Ber. MINEREX, 18 S., Wien.
- MINEREX (1985): Moldanubikum. Statusbericht 1984. – Unveröff. Ber. MINEREX, 18 S., Wien.
- MINEREX (1985): Projekt Hirschenschlag. Statusbericht 1984. – Unveröff. Ber. MINEREX, 14 S., Wien.
- MINEREX (1985): Projekt Nebelstein. Statusbericht 1984. – Unveröff. Ber. MINEREX, 19 S., Wien.
- MINEREX (1986): Statusbericht 1985. Projekt Gold Flatschach/Tremmelberg. – Unveröff. Ber. MINEREX, 27 S., Wien.
- MINEREX (1986): Statusbericht 1985. Projekt Hirschenschlag. – Unveröff. Ber. MINEREX, 13 S., Wien.
- MINEREX (1986): Statusbericht 1985. Regionale Prospektion Moldanubikum – Unveröff. Ber. MINEREX, 7 S., Wien.
- MINEREX (1987): Statusbericht 1986. Projekt Grosshaslau. – Unveröff. Ber. MINEREX, 9 S., Wien.
- MINEREX (1987): Statusbericht 1986. Projekt Hirschenschlag. – Unveröff. Ber. MINEREX, 4 S., Wien.
- MINEREX (1987): Statusbericht 1986. Regionale Prospektion Moldanubikum. – Unveröff. Ber. MINEREX, 11 S., Wien.
- MONTAG, O. & HÖCK, V. (1993): Geochemische Einsichten in moldanubische Amphibolite. Projekt S 4704. – Mitt. Öst. Min. Ges., **138**, 131–141, Wien.
- MOSHAMMER, B. (1999): Vorkommen von hochreinen und weißen Karbonatgesteinen in Österreich. – Ber. Geol. B.-A., **48**, 33 S., Wien.
- MOSHAMMER, B. & LELKES FELVARI, G. (2006): Geologie (Mikrofazies, Mineralogie-Petrographie), Geochemie und Weißmetrik ausgewählter Marmor-, Kalkstein-, Dolomit- und Kalkspatvorkommen in Österreich. – Unveröff. Ber. 1. Jahr Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-051/2005-07, 14 S., Wien.
- MOSHAMMER, B. & LELKES FELVARI, G. (2007): Geologie (Mikrofazies, Mineralogie-Petrographie), Geochemie und Weißmetrik ausgewählter Marmor-, Kalkstein-, Dolomit- und Kalkspatvorkommen in Österreich. – Unveröff. Ber. 2. Jahr Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-051/2005-07, 35 S., Wien.
- MOSHAMMER, B. & LOBITZER, H. (1996): Nutzungsoptionen ausgewählter österreichischer Vorkommen von hochreinen Karbonatgesteinen (Kalkstein, Marmor, Dolomit z.T.). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-038/94-95, 57 S., Wien.
- MOSHAMMER, B. & LOBITZER, H. (1998): Nutzungsoptionen ausgewählter österreichischer Vorkommen von hochreinen Karbonatgesteinen (Kalkstein, Marmor, Dolomit z.T.) – Lagerstättenkundliche Detailuntersuchungen. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-038/96, 3 Bd., 184 S., Wien.
- MOSHAMMER, B. & LOBITZER, H. (2000): Weißmetrik und Geochemie ausgewählter österreichischer Kalkstein- und Marmor-Vorkommen. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **91**, 63–77, Wien.
- MOSHAMMER, B. & MALECKI, G. (1994): Systematische Untersuchung von Rohstoffvorkommen zur Optimierung der Wertschöpfung. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-025/88-93, Geol. B.-A./FA Rohstoffgeol., BiS. Geol. B.-A. / Wiss. Archiv Nr. A 10244-R, 27 S., Wien.
- MOSTLER, H., HEISSEL, G. & GASSER, G.U. (1979): Untersuchung von Erzlagerstätten im Innsbrucker Quarzphyllit. – Unveröff. Ber. Univ. Innsbr., 30 S., Innsbruck.
- MOSTLER, H., HEISSEL, G. & GASSER, G. (1982): Untersuchung von Erzlagerstätten im Innsbrucker Quarzphyllit und auf der Alpeiner Scharte. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **1**, 77–83, Wien.
- MOSTLER, H., KRÄINER, K. & STINGL, V. (1982): Erzlagerstätten in der postvariszischen Transgressionsserie im Arlberggebiet. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **2**, 131–136, Wien.
- MOSTLER, H., ANGERER, H., HOHENBÜHEL, K., KRÄINER, K., POSCHER, G. & STINGL, V. (1986): Überprüfung und Detailuntersuchung von Schwermetall-Indikationen aus der regionalen Geochemie im Westabschnitt der Grauwackenzone zwischen Schwaz und Zell am See. – Unveröff. Ber. Univ. Innsbr., 112 S., Innsbruck.
- MÜLLER, G. (1986): Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente als Schadstoffe. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **79**, 107–126, Wien.
- MÜLLER, G. (1995): Schwermetalle und organische Schadstoffe in den Flußsedimenten. – Kurzfassung der Vorträge, Barbara-Gespräche 1995, Geoschule Payerbach, 8 S., Payerbach.
- MÜLLER, G. & WIMMER, W. (1987): Schwermetallgehalte in Sedimenten oberösterreichischer Fließgewässer. – Amtl. Oberösterreichischer Wassergüteatlas, **14**, 385 S., Linz.
- MÜLLER, H.W. (1982): Bodenkundliche Untersuchungen der landwirtschaftlichen Versuchsflächen im Rauchschadensgebiet Arnoldstein (Kärnten). – Carinthia II, Sh. **39**, 67–93, Klagenfurt.
- MÜLLER, H.W., SCHWAIHOFER, B., NACHTNEBEL, H.P. & SUMMER, W. (1989): Vergleich sedimentologischer und geochemischer Untersuchungen im Stauraum Altenwörth und in der Fließstrecke von Greifenstein bis Hainburg. – Öst. Wasserwirtschaft, **41**, 186–195, Wien.
- MÜLLER, M. (1985): Geochemische Untersuchungen an Talkvorkommen der östlichen Grauwackenzone. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 82 S., Leoben.
- MÜLLER, T. (1992): Geologie, Petrographie, Geochemie und Mineralisationen nordöstlich von Irschen Kreuzeckgruppe, Kärnten, Österreich. – Unveröff. Dipl.-Arb. FU Berlin, 140 S., Berlin.
- MUTSCH, F. (1992): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Teil VI: Schwermetalle. – Mitt. FBVA, **168**, 145–192, Wien.
- NACHTNEBEL, H.P., SEIDELMANN, R., MÜLLER H.W. & SCHWAIHOFER, B. (1998): Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Donau und ihren wichtigsten Zubringern. – Schriftenr. d. Forschung im Verbund, **45**, 149 S., Wien.

- NAWARATNE, S. (1989): Geochemical, petrological and isotopic studies related to the genesis of Antimony deposits in the Eastern Alps with special reference to the deposit of Schläining, Burgenland, Austria. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 282 S., Wien.
- NAZMY, A.I. (1955): Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Fahlerze. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 108 S., Wien.
- NEINAVAIE, H. (1982): Petrographische Untersuchungen an scheelitführenden Gesteinen in den Gebieten Nordtirol, Salzburg und Kärnten im Zuge der Scheelitprospektion im Sommer-Herbst 1981. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 66 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1983): Regionale Wolframprospektion und -exploration. Abschlussbericht über die Explorationsarbeiten im Bereich Hollersbach-Achselalm. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 14 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1984): Petrographische Untersuchungen an scheelitführenden Gesteinen in den Gebieten Osttirols, Nordtirols, Salzburgs, Kärntens und der Steiermark im Zuge der Scheelitprospektion im Sommer-Herbst 1983. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 40 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1985): Wolframvorkommen in der Gurktaler Quarzphyllitzone im Nockgebiet/Kärnten. – Anz. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., **121**, 135, Wien.
- NEINAVAIE, H. (1991): Verifizierung von 12 geochemischen Anomalien mittels Mineralphasenanalytik am Beispiel der Elemente Titan, Niob, Wolfram, Zinn u.a. Endbericht zum Projekt ÜLG 28/90. – Unveröff. Ber. GeoÖko/Geol. B.-A., 95 S., Wien.
- NEINAVAIE, H. (1993): Bericht über bodengeochemisch-mineralogische Untersuchungen im Bereich eines Kupferschmelzplatzes in der Eisenerzer Ramsau. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 4 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1994): Sedimentuntersuchungen am Vordernbergbach im Abschnitt Donawitz als Teilschritt zur Bewertung der Gewässerbeschaffenheit. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 8 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1994): Mineralogisch-phasenanalytische Bearbeitung von Sedimentproben des Vordernbergbaches. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 6 S., 1 Ergebnisdokumentation, Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1994): Mineralogisch-phasenanalytische Bearbeitung von Hüttenschlacken am Beispiel ausgewählter Hüttenstandorte des Projektes ÜLG 36/1993 (Stand 11/94 noch vor Abschluß der vollständigen Bearbeitung). – In: SCHERMANN, O., SCHEDL, A., LIPIARSKI, P., REITNER, H. & NEINAVAIE, H. (1994): Erhebung und Bewertung ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorte hinsichtlich Risiko- und Folgenutzungspotentials – Haldenkataster. – Unveröff. Ber. zu Projekt ÜLG 36/93, Anh. 2, S. XXXIV–LXXII, Wien.
- NEINAVAIE, H. (1996): Mineralogische Untersuchungen von Haldenmaterialien im Rahmen des Forschungsprojektes ÜLG40. Zwischenbericht. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 5 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1998): Mineralphasenuntersuchungen an zwei LD-Konverterschlacken zur Abklärung der Schwefel- und Phosphorbindungsformen. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 5 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (1998): Mineralogische Untersuchungen an Härteablagerungen. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 3 S. Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. (2000): Mineralogisch-petrographische Untersuchung einer Probe Schlammeichmaterial (Schläining). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 6 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PFEFFER, W. (1981): Integrierte lagerstättenkundliche Such- und Explorationsarbeiten innerhalb der bereits 1978 geochemische aufgefundenen Wolfram- und Molybdän-Anomalien im Gebiet des zentralen Venediger-Massivs, im Defereggengebirge und in den Zillertaler Alpen. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 3 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PFEFFER, W. (1981): Scheelitprospektion 1980 in Teilen Tirols, Salzburgs und Kärntens. Abschlussbericht. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 36 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PFEFFER, W. (1982): Scheelitprospektion 1981 in Teilen Tirols, Salzburgs, Kärntens und der Steiermark. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 19 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PFEFFER, W. (1986): Wolfram- und Molybdänprospektion 1985 in Teilen Nordtirols, Osttirols, Kärntens, Salzburgs und der Steiermark. (1. Zwischenbericht). – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 21 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PFEFFER, W. (1987): Prospektion 1986 auf W-, Mo- und Sn in ausgewählten Gebieten des Mühl- und Waldviertels. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 18 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PFEFFER, W. (1987): Wolfram- und Molybdänprospektion 1985 in Teilen Nordtirols, Osttirols, Kärntens, Salzburgs und der Steiermark sowie petrographische Untersuchungen an aufgefundenen Vererzungen im Arbeitsgebiet. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 34 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (1994): Mineralphasenanalyse in der Umwelttechnik: Eine Einführung. – Mineralogische Rundschau, **1–2**, 13–14, Wien.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (1995): Diskussion geogener Schwermetallverteilungen anhand verschiedener Probenmedien und Analysefiles für Osttirol als Basis der Arbeitsplanung im Rahmen des „Haldenkatasters“. – Unveröff. Ber. GeoÖko im Auftrag der Geol. B.-A., 16 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H.R. (1996): Geogene Schwermetallverteilungen an BZI-Punkten Salzburg. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt S-U-022/95, 65 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (1997): Entwicklung theoretischer Modelle als Basis für ein optimiertes Screening- und Bewertungssystem zur Evaluierung von Bergbau- und Hüttenstandorten in alpinen Kulturlandschaften. Endbericht. – Unveröff. Ber. GeoÖko, KLF/MU7 – Bergbaufolgelandschaften., 1. Projektphase, 10 S., Eisenerz/Wien.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (1998): Aufbereitung und Komplexinterpretation geochemischer Analysendaten – Erweiterte Erläuterungen zum „Geochemischen Atlas der Republik Österreich“. 1. Zwischenbericht – Technische Erläuterungen. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 19 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (1998): Bachsedimentgeochemie – Zentralzone. Auswertung und Interpretation für Fragen der geologisch-tektonischen Gliederung. – Unveröff. Teilber. GeoÖko, Proj. Ü-LG 28, 14 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (2000): Interpretation raumbezogener geochemischer Daten. 2. Teil – Umsetzung für umwelt-geowissenschaftliche Fragestellungen (im Rahmen des Projektes Ü-LG-28). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 73 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H. (2006): Mineralogische Untersuchungen von Boden- und Flusssedimentproben. – Unveröff. Teilber. Geol. B.-A., 2. Jahr Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-061/2006, 50 S., Wien.
- NEINAVAIE, H. & SCHEDL, A. (2006): Mineralphasenanalytische Untersuchung von Flusssedimenten (Schwermineralfraktion) aus Vergleichsbeprobungen im Bereich Drau/Drava (Slowenien, Kroatien) und der Mur/Mura (Kroatien). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 48 S., Wien.
- NEINAVAIE, H., PFEFFER, W. & THALMANN, F.K. (1985): Ergebnisse der geochemischen Prospektion auf Stahlveredler im Bundesgebiet. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **130/4**, 111–116, Wien.
- NEINAVAIE, H., THALMANN, F., ATAIL, B. & BERAN, A. (1989): Wolframite- and scheelite-bearing carbonate rocks of the Nock mountains, Austria: A new type of tungsten mineralization in the Eastern Alps. – Mineralium Deposita, **24**, 14–18, Berlin

- NEINAVAIE, H., PIRKL, H. & UMFER, T. (1997): Naturraumressourcen und Umweltsituation der Gemeinde Eisenerz – naturwissenschaftliche Basis für einen Imagewandel der Region. Jahresbericht für das 2. Projektjahr. – Unveröff. Jahresbericht GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-U-086/97, 26 S., Eisenerz.
- NEINAVAIE, H., PIRKL, H. & SCHEDL, A. (1998): Entwicklung theoretischer Modelle als Basis für ein optimiertes Screening- und Bewertungssystem zur Evaluierung von Bergbau- und Hüttenstandorten in alpinen Kulturlandschaften – Endber. Geol. B.-A., 1. Teilphase Kulturlandschaftsforschungsmodul MU7, 25 S., Eisenerz–Wien.
- NEINAVAIE, H., PIRKL, H., SCHEDL, A., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., ATZENHOFER, B., GSTREIN, P., HANSER, E. & WILFING, H. (1999): Screening und Bewertung von ehemaligen Bergbau- und Hüttenstandorten hinsichtlich Umweltrisiko und Folgenutzungspotentialen durch einen integrierten geowissenschaftlich-humanbiologischen Ansatz am Beispiel der Kitzbühler Alpen. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 2. Zwischenbericht (Proj. MU7/TU17), 55 S., Wien.
- NEINAVAIE, H., PIRKL, H., SCHEDL, A., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., ATZENHOFER, B., KLEIN, P., GSTREIN, P., HANSER, E. & WILFING, H. (2000): Screening und Bewertung von ehemaligen Bergbau- und Hüttenstandorten hinsichtlich Umweltrisiko und Folgenutzungspotentialen durch einen integrierten geowissenschaftlich-humanbiologischen Ansatz am Beispiel der Kitzbühler Alpen. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 3. Zwischenbericht, Proj. MU7/TU17a, IV + 120 S., Wien.
- NEINAVAIE, H., PIRKL, H. & SCHEDL, A. (2008): Mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen (Mineralphasenanalytik) als unterstützende Tools für die Interpretation (umwelt-)geochemischer Analysergebnisse. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 50–52, Wien.
- NEINAVAIE, H., SCHEDL, A., HASLINGER, E. & HOBIGER, G. (2009): Untersuchungsbericht: Chemische Analysen, Eluattest sowie mineralogisch-mikrochemische Untersuchungen von Seesedimenten, Boden- und Bachsedimentproben aus dem Gebiet des Ossiacher Sees im Hinblick auf mögliche geogene Belastungsursachen (Sanierung Ossiacher See – Bleistätter Moor; Modul 3, Teil II Saugbaggerung). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 35 S., Wien.
- NEUHUBER, S.M.U. (2001): Schwermetalladsorption im Vergleich zur spezifischen Wasseradsorption an Flusssedimenten geologisch unterschiedlicher Einzugsgebiete. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 84 S., Wien.
- OKRUSCH, M., PICHLER, P. & GÜRKAN, A. (1991): Geochemistry of blackwall sequences in the Habachtal emerald deposit, Hohe Tauern, Austria Part 1: Presentation of geochemical data. – *TMPM*, III.F., **29**, 9–31, Wien.
- ORTNER, G. (2006): Die Böden Kärntens. – *Natur Kärnten*, **3**, 208 S., Klagenfurt.
- OTTESEN, R.T., BIRKE, M., FINNE, T.E., GOSAR, M., LOCUTURA, J., REIMANN, C., TARVAJINEN, T. & THE GEMAS PROJECT TEAM (2013): Mercury in European agricultural and grazing land soils. – *Applied Geochemistry*, **33**, 1–12, Amsterdam.
- PASAVA, J. & SCHÖNLAUB, H.P. (1999): Stratigraphy, geochemistry and origin of Silurian black graptolitic shales of the Carnic Alps (Austria). – *Abh. Geol. B.-A.*, **56/1**, 317–324, Wien.
- PEHOFER, H.E., SOSSAU, C., EISENMANN, T. & MÜLLER, J. (1990): Schwermetalluntersuchungen an Sedimenten des Tiroler Inns. – 117 S., Amt d. Tir. Landesreg., Innsbruck.
- PETERSEN-KRAUSS, D. (1978): II. Zwischenbericht zur geochemischen Analyse der Gesteine des Serpentinivorkommens südlich von St. Stefan ob Leoben (Stmk.) im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rohstoffsicherung der Steiermark, Teilprojekt Kraubath“, zur Vorlage bei der Landesregierung Steiermark. – Unveröff. Ber. VALL, 11 S., Frankfurt/Main.
- PETERSEN-KRAUSS, D. (1978): Abschlußbericht zur geochemischen Analyse der Gesteine des Serpentinivorkommens südlich von St. Stefan ob Leoben (Steiermark) im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rohstoffsicherung der Steiermark, Teilprojekt Kraubath“, zur Vorlage bei der Landesregierung Steiermark. – Unveröff. Ber. VALL, 36 S., Frankfurt/Main.
- PFEFFER, W. (1988): Abschlußbericht über die bergmännische Untersuchung der Vererzung Bärnbach bei Hollersbach/Salzburg. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 11 S., 4 Beil., Eisenerz.
- PFEFFER, W. (1988): Integrierte Auswertung geochemischer Daten aus dem Gebiet der westlichen Grauwackenzone unter Berücksichtigung der Basisdaten aus der aeromagnetischen Vermessung. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 22 S., Eisenerz.
- PFEFFER, W. & THALMANN, F. (1980): Technisch-wissenschaftliche Untersuchung des Ultramafits von Kraubath/Steiermark. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 50 S., Eisenerz.
- PFLIEDERER, S. & SCHEDL, A. (2008): Anwendungen der Bachsedimentanalytik in der Umweltgeochemie. – *Ber. Geol. B.-A.*, **77**, 47, Wien.
- PFLIEDERER, S., BRÜGGEMANN, H. & REITNER, H. (1997): Geohydrologische und hydrogeologische, geochemische und tektonische Grundlagenstudie in den oberösterreichischen Kalkvoralpen nordöstlich der Enns. – Unveröff. 1. Zwischenber. Geol. B.-A., Auftragsforschung Proj.O-A-030/1997, 34 S., Wien.
- PFLIEDERER, S., ARNDT, R., HÜBL, G., RÖMER, A., DECKER, K., PIRKL, H., RANK, D., PAPESCH, W. & REITNER, H. (1998): Geohydrologische und hydrogeologische, geochemische und tektonische Grundlagenstudie in den oberösterreichischen Kalkvoralpen nordöstlich der Enns. – Unveröff. 2. Zwischenbericht Geol. B.-A., Auftragsforschung Proj.O-A-030/1998, 51 S., Wien.
- PFLIEDERER, S., REITNER, H. & HEINRICH, M. (2002): Zur Hydrogeologie der Kalkvoralpen nordöstlich der Enns. – *Beitr. zur Hydrogeol.*, **53**, 45–60, Graz.
- PFLIEDERER, S., HEINRICH, M., KLEIN, P., PIRKL, H., PLAN, L. & REITNER, H. (2003): Hydrogeologische Grundlagen in den Kalkvoralpen im SW Niederösterreichs. – Unveröff. Zwischenbericht Geol. B.-A., 1. Arbeitsjahr, Bund-Bundesländer Proj. N-A-006u/2002-05, 47 S., Wien.
- PFLIEDERER, S., REITNER, H., HEINRICH, M., KLEIN, P., PIRKL, H. & PLAN, L. (2004): Hydrogeologische Grundlagen in den Kalkvoralpen im SW Niederösterreichs. – Unveröff. Zwischenber. Geol. B.-A., 2. Arbeitsjahr, Bund-Bundesländer Proj. N-A-006u/2002-05, 50 S., Wien.
- PFLIEDERER, S., REITNER, H., PIRKL, H., KLEIN, P. & HEINRICH, M. (2004): Temporal and spatial variations of geoenvironmental parameters in soil, rock and groundwater samples of the northern calcareous alps in Austria. – *geonv 2004, Pre-Proceedings Fifth European Conference on Geostatistics for Environmental Applications*, October 13–15, Abstract, Poster, 1 S., Neuchâtel.
- PFLIEDERER, S., REITNER, H., HEINRICH, M., KLEIN, P., MOSER, M., PAVUZA, R., PIRKL, H., PLAN, L., RANK, D., PAPESCH, W., SPÖTL, C., UNTERSWEIG, T. & WIMMER-FREY, I. (2005): Hydrogeologische Grundlagen in den Kalkvoralpen im SW Niederösterreichs – Hydro Ybbs-West. – Unveröff. Endber. Geol. B.-A., Bund-Bundesländer Projekt N-A-006u/2002-05, 136 S., 1 Beil.-Bd., 1 Anh.-Bd., Wien.
- PFLIEDERER, S., KLEIN, P., REITNER, H. & HEINRICH, M. (2007): The Hydrogeology of the Northern Calcareous Alps between the rivers Enns and Ybbs. – *Austr. J. Earth Sc.*, **99**, 4–10, Wien.
- PFLIEDERER, S., REITNER, H., PIRKL, H., KLEIN, P. & HEINRICH, M. (2008): Temporal and spatial variations of geoenvironmental parameters in soil, rock and groundwater samples of the northern calcareous alps in Austria. – *Ber. Geol. B.-A.*, **77**, 53–54, Wien.

- PFLIEDERER, S., SCHEDL, A. & PIRKL, H. (2009): Using stream sediments for environmental geochemistry in Austria. – Proceedings of the 24th International Applied Geochemistry Symposium Fredericton, New Brunswick, Canada, June 1st – 4th, 2009, Vol. 2, 939–942, Fredericton.
- PHOLIADIS, D. (1984): Beitrag zur Geochemie der Bleiberger Fazies und der Carditaschiefer. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 161 S., Wien.
- PHOLIADIS, D. (1985): Zur Geochemie der Raibler Schiefer. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., 6, 153–156, Wien.
- PICHLER, W. (1996): Untersuchung von Fließgewässern im Bundesland Salzburg auf kommende Belastungen. – UBA-Ber., 59, 49 S., Wien.
- PIRKL, H. (1986): Rohstoffpotential Semmering – Wechselgebiet. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-009d/83. – Ber. Geol. B.-A., 4, 79 S., Wien.
- PIRKL, H. (1988): Regionale und überregionale Basisaufnahme als Grundlage der Rohstoffforschung in Österreich. – Grundlagen der Rohstoffversorgung, 9, 141–145, Wien.
- PIRKL, H. (1990): Interpretation geochemischer Daten (Bachsedimentgeochemie) aus Bereichen von Weinsberger Granit-Einzugsgebieten. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Archiv Geol. B.-A.), 9 S., Wien.
- PIRKL, H. (1990): Bemerkungen zur Festlegung und Verwendung von Schadstoff-Grenzwerten für Böden und Grundwasser in alpinen Ökosystemen. – Jb. Geol. B.-A., 133, 111–120, Wien.
- PIRKL, H. (1991): Versuche zur Interpretation von bachsedimentgeochemischer Daten aus Bereichen des Weinsberger Granits – Grenzen und Möglichkeiten. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Archiv Geol. B.-A.), 24 S., Wien.
- PIRKL, H. (1991): Geochemische Charakterisierung typischer Einzugsgebiete in den geologischen Großeinheiten der Region Amstetten – Waidhofen a. d. Ybbs. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-009g/90, 49 S., Wien.
- PIRKL, H. (1991): Hydrogeologisch-hydrochemische Charakteristik kleiner Einzugsgebiete im Bereich der Permotrias des Krappfeldes. – Unveröff. Ber. i. A. d. VA-Stahl Linz, Wien.
- PIRKL, H. (1991): Hydrogeologisch-hydrochemische Charakteristik kleiner Einzugsgebiete verschiedener geologischer Serien im Umfeld Treibach-Althofen. – Unveröff. Ber. i. A. d. VA-Stahl Linz, 20 S., Wien.
- PIRKL, H. (1991): Flächenhafter Zusammenhang zwischen Waldzustand – Bodenzustand und Ionenaustauschvorgängen im tieferen Untergrund montaner und subalpiner Ökosysteme (Beispielsbereich Löhnersbach/Glemmtal). – Unveröff. Ber. Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-C-013, T-U-002, 45 S., Wien.
- PIRKL, H. (1992): Interpretation geochemischer Daten für interdisziplinäre regionale Fragestellungen. – BMWuF Gz.30.377/2-32/91, Projekt Ü-038/91. – Ber. Geol. B.-A., 25, 101 S., Wien.
- PIRKL, H. (1992): Auswertung und Interpretation von Ergebnissen einer Mehrfachanalytik an Bodenproben aus der westlichen Grauwackenzone. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 7 S., Wien.
- PIRKL, H. (1992): Materialien zum Projektansatz ‚Erhebung und Bewertung ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorte hinsichtlich ihres Risiko- und Folgenutzungspotentials. – Unveröff. Ber., 13 S., Wien.
- PIRKL, H. (1993): Auswertung und Interpretation geochemischer Daten – Bachsedimentgeochemie, Bodengeochemie – für den Bereich Günsler Bergland–Lockenhaus (im Rahmen Forschungsprojekt „Vorsorgende Bodenschutzplanung Günsler Bergland“). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 9 S., Wien.
- PIRKL, H. (1993): Bericht über Prospektion und Probenahme im Gebiet Waldviertel (1992). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 13 S., Wien.
- PIRKL, H. (1993): Forschungsprojekt Sicherung der Wasserqualität und -quantität in kalkalpinen Serien – Hydrogeologie Ybbsitz. Konzept, Probenahme und erste Auswertungen. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 35 S., Wien.
- PIRKL, H. (1994): Bericht über Probenahme und Analytik (Forschungsprojekt zur Bodenzustandserhebung Umweltbestandsaufnahme im Gebiet des Voitsberger-Köflacher Beckens). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 16 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1994): Bericht über die Auswertung bach- und bodengeochemischer Daten als Basis der Definition litho- und pedogener Schwermetall-Backgroundwerte. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 69 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1994): Zwischenbericht 93 über bodengeochemische Untersuchungen in kleinen Einzugsgebieten auf ÖK 70 und 71. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Proj. N-A-006p/93, 34 S., Wien.
- PIRKL, H. (1994): Zwischenbericht 93 über bodengeochemische Untersuchungen in kleinen Einzugsgebieten auf ÖK 70 und 71. – Unveröff. Teilber. GeoÖko, Proj. N-A-006p/93, 30 S., Wien.
- PIRKL, H. (1994): Sedimentuntersuchungen am Vorderberger Bach im Abschnitt Donawitz als Teilschritt zur Bewertung der Gewässerbeschaffenheit. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 8 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1994): Materialien zur Übersicht vorhandener geochemischer Daten für das Land Salzburg. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 4 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1995): Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen 2. Phase. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 33 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1995): Ansätze zur Erarbeitung eines Erhebungs- und Bewertungssystems ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorte hinsichtlich ihres Risiko- und Folgenutzungspotentials. – Unveröff. Teilber. GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-C-007e/92, 17 S., Wien.
- PIRKL, H. (1995): Bericht über Auswertung und Interpretation bodengeochemischer Untersuchungen in hydrogeologischem Kontext kleiner Einzugsgebiete auf ÖK 70 und 71. – Unveröff. Teilber. GeoÖko, Proj. N-A-006p/92-94, 63 S., Wien.
- PIRKL, H. (1995): Beiträge zur Komplexinterpretation Umweltgeochemie Niederösterreich. 1. Teilbericht/Arbeitsschritte – Unveröff. Teilber. GeoÖko, 6 S., Wien.
- PIRKL, H. (1996): Geowissenschaftliche Bewertungsinstrumentarien für ein inneralpines Bergbau- und Industriegebiet – Region Eisenerz/Monitoring und wissenschaftliche Folgenutzung. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 27 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1996): Naturraumressourcen und Umweltsituation der Gemeinde Eisenerz – naturwissenschaftliche Basis für einen Imagewandel der Region. Endbericht für das 1. Arbeitsjahr. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 33 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. (1996): Interpretation raumbezogener geochemischer Daten im Grenzbereich Wald-/Weinviertel. – Unveröff. Teilber. (3. Jahr) GeoÖko, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/96, 12 S., Wien.
- PIRKL, H. (1996): Vorschläge für eine gezielte lithologisch-geochemisch-mineralogische Untersuchung von Untergrund-Standortfaktoren für den Weinbau im Raum Retz. – Unveröff. Teilber. (3. Arbeitsjahr) GeoÖko, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/94-97, 4 S., Wien–Eisenerz.
- PIRKL, H. (1997): Vorschläge zur erweiterten Auswertung und Interpretation punkt- und flächenbezogener Daten zur geowissenschaftlichen Bewertung der Weinbau-Standorteignung am Beispiel Retz. – Unveröff. Teilber. (3. Arbeitsjahr) GeoÖko, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/96, 18 S., Wien.

- PIRKL, H. (1997): Interpretation raumbezogener geochemischer Daten im Grenzbereich Wald-/Weinviertel. – Unveröff. Teilber. (3. Arbeitsjahr) GeoÖko, Bund-/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/96, 18 S., Wien.
- PIRKL, H. (1998): Visualisierung von Teilergebnissen der Bachsedimentgeochemie im Bereich der Bezirke Horn und Hollabrunn. – Unveröff. Teilber. (4. Arbeitsjahr) GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/97, 1 S., Wien.
- PIRKL, H. (1998): Visualisierung von Teilergebnissen der Bachsedimentgeochemie. – Unveröff. Teilber. (4. Arbeitsjahr) GeoÖko, Bund-/ Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/97, 2 S., Wien.
- PIRKL, H. (1998): Vergleichende Auswertung und Diskussion geochemischer Daten – Bezirk Scheibbs/NÖ. – Unveröff. Teilber. (1. Arbeitsjahr) GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-040/97-98, 11 S., Wien.
- PIRKL, H. (1998): Abschätzung der Phosphor-Gesamt-Gehaltsverteilung im Naturraum mit Hilfe geochemischer Daten. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 10 S., Wien.
- PIRKL, H. (1998): Zusammenführung und Diskussion geochemischer Daten mehrerer Umweltmedien – Gesteine, Böden, Bachsedimente, Wasser – für den Bereich des mittleren Ybbs-Einzugsgebietes. – Unveröff. Teilber. GeoÖko, Bund, Bund/Bundesländer-Projekt N-A-006p/F/98, 24 S., 7 Beil., Wien.
- PIRKL, H. (1998): Geochemische und mineralogische Daten als Basis einer Standortcharakterisierung für den Weinbau – Beispielsbereich Retz. – Unveröff. Teilber. (4. Jahr) GeoÖko, (Anh. 15), Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/97, Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeol., 11 S., Wien–Eisenerz.
- PIRKL, H. (1998): Geochemische und mineralogische Daten als Basis einer Standortcharakterisierung für den Weinbau – Beispielsbereich Retz. – Unveröff. Teilber. (4. Jahr) GeoÖko, Bund-/ Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-036/97, Geol. B.-A., FA Rohstoffgeol., 12 S., Wien.
- PIRKL, H. (1999): Interpretation geochemischer Daten im Rahmen von Wasserhöffigkeits- und Naturraumpotentialprojekten. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Bund-Bundesländerprojekt N-A-006p/F, O-A-030, N-C-040, 11 S., Wien–Eisenerz.
- PIRKL, H. (1999): Zusammenführung und Interpretation geochemischer Analysen für den Bereich der OÖ Kalkalpen östlich der Enns (im Rahmen Projekt OA30). Abschlußbericht. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 15 S., Wien.
- PIRKL, H. (2001): Bachsedimentgeochemie Burgenland. Probenahme 2001. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 10 S., Wien.
- PIRKL, H. (2001): Umweltgeochemie Flüsse Salzburg. Unterstützende Auswertungsschritte. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 11 S., Wien.
- PIRKL, H. (2002): Verifizierung und fachliche Bewertung von Forschungsergebnissen und Anomalienhinweisen aus regionalen und überregionalen Basisaufnahmen und Detailprojekten: Erwartbare geogene Grundgehalte von Schwermetallen in Ober- und Niederösterreich. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-028/2000-01 Teil 3, BiS. Geol. B.-A. / Wiss. Archiv, 28 S., Wien.
- PIRKL, H. (2002): Umweltgeochemie Flüsse Tirol. Unterstützende Auswertungsschritte. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 17 S., Wien.
- PIRKL, H. (2002): Geochemische Charakteristik von Serien des Drauzuges (Teilbeitrag zu Projekt ÜLG28/02). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 22 S., Wien.
- PIRKL, H. (2002): Bach- und Flusssedimentgeochemie Vorarlberg. Probenahme 2002. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Archiv Geol. B.-A.), 13 S., Wien.
- PIRKL, H. (2002): Geomedizin. Geogene Quellen für die Spurenelemente Arsen und Antimon in den Zentralalpen. – Unveröff. Ber. GeoÖko i. A. Geol. B.-A. / FA Geochemie, 20 S., Wien.
- PIRKL, H. (2003): Erwartbare geogene Grundgehalte für bestimmte Schwermetalle im zentralalpiner Anteil der Steiermark. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 32 S., Wien.
- PIRKL, H. (2003): Geopotential Bezirk Melk: Geochemische Gebietscharakteristik als Schlüsselindikator für Grundwasserschutz und Wasserhaushalt. – Unveröff. Teilber. 3. Jahr, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-052/01-03, 38 S., Wien.
- PIRKL, H. (2003): Hintergrundwerte Oberflächengewässer an ausgewählten WGEV-Mess-Stellen. Zwischenbericht. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 24 S., Wien.
- PIRKL, H. (2003): Geogene Hintergrundbehalte BZI Salzburg. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-C-020, 45 S., Wien.
- PIRKL, H. (2003): Erwartbare geogene Grundgehalte von Schwermetallen in Ober- und Niederösterreich (Teilbericht zu Projekt Ü-LG 028/2001). – Unveröff. Ber. GeoÖko, 28 S., Wien.
- PIRKL, H. (2004): Grund- und Quellwasserschutz im Kalkalpenabschnitt zwischen Göstling (NÖ) und Ennsfluss (OÖ): Geochemische Daten als Stofffluss-Indikatoren. Ein Syntheseversuch. – Unveröff. Teilber. 3. Arbeitsjahr (Anh. 2), Bund-Bundesländer Projekt N-A-006u/2002-05, Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeol., 48 S., Wien.
- PIRKL, H. (2004): Ableitung von Hintergrundwerten in Oberflächengewässern. Test einer Vorgangsweise am Beispiel ausgewählter Flusseinzugsgebiete. Endbericht. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 17 S., Wien.
- PIRKL, H. (2004): Hydro Ybbs West Bodenbeprobung 02 und 03 Ziele, Analysenergebnisse und Trends. – Unveröff. Teilber. 3. Arbeitsjahr (Anh. 1), Bund-Bundesländer Projekt N-A-006u/2002-05, Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeol., 21 S., Wien.
- PIRKL, H. (2004): Hydro Ybbs West Bodenbeprobung 2002. Erste Hinweise zur Auswertung der Analytik. – Unveröff. Teilber. 3. Arbeitsjahr, Bund-Bundesländer Projekt N-A-006u/2002-05, Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeol., 10 S., Wien.
- PIRKL, H. (2004): Hydro Ybbs West Bodenprobenahme Sommer 2003. – Unveröff. Teilber. 2. Arbeitsjahr (Anh. 1), Bund-Bundesländer Projekt N-A-006u/2002-05, Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeol., 5 S., Wien.
- PIRKL, H. (2005): Geomedizin. Spurenelement- und Schwermetallverteilungen als uni- und multifaktorielle Gesundheits-Risikopotenziale. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Archiv Geol. B.-A.), 40 S., Wien.
- PIRKL, H. (2005): Grund- und Quellwasserschutz im Kalkalpenabschnitt zwischen Göstling (NÖ) und Ennsfluss (OÖ). Geochemische Daten als Stofffluss-Indikatoren. Ein Syntheseversuch. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Archiv Geol. B.-A.), 51 S., Wien.
- PIRKL, H. & HAUSBERGER, G. (1996): Geochemie der Bachsedimente Niederösterreichs 1:750.000. – Unveröff. Atlas, ÖFPZ Arsenal, 83 Kt., Wien.
- PIRKL, H. & NEINAVAIE, H. (1995): Dateninterpretation von Schwermetallen anhand von Sedimentuntersuchungen und Geostatistik an ausgewählten WGEV-Meßstellen in Salzburg. – Unveröff. Ber. GeoÖko i. A. Sbg. Landesreg., 62 S., Wien.
- PIRKL, H. & NEINAVAIE, H. (1999): Quecksilber- und Schwermetallverteilungen im Umfeld des Steirischen Erzberges. – Unveröff. Ber. GeoÖko, 10 S., Eisenerz.
- PIRKL, H. & PFLEIDERER, S. (2009): Geochemistry of the Drau-Mur catchment area in Austria – status of knowledge and proposals for cross-border investigations. – *Vijesti HGD*, **46/2**, 15–16, Zagreb.

- PIRKL, H., ALBER, J., BRÜGGEMANN, H., EXEL, R., HEINZ, H., KLEIN, P., MALECKI, G., MEYER, J., NOWOTNY, A., SEIBERL, W. & SCHERMANN, O. (1984): Regionale Feststellung des Rohstoffpotentials Bereich Blatt Wörgl (ÖK 120) und Blatt Neukirchen am Großvenediger (ÖK 121). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 153 S., 1 geol. Kt., Wien.
- PIRKL, H., DAVIS, J.C., BROWNING, R., SCHERMANN, O., WEBER, L. & STRAUSS, U. (1988): Kooperation Geologische Bundesanstalt – Geological Survey of Kansas in Bezug auf Auswertungsmodelle geochemischer Daten (ÜLG 21/87): Projektbericht zusammengestellt von H. Pirkl. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-021/87, 11 S., Wien.
- PIRKL, H., AMBERGER, C., HUSZ, G., MAUSER, H., STOLL, C., SURENIAN, R. & WIMMER-FREY, I. (1991): Flächenhafter Zusammenhang zwischen Waldzustand – Bodenzustand und Ionenaustauschvorgängen im tieferen Untergrund montaner und subalpiner Ökosysteme (Beispielsbereich Löhnersbach/Glemmtal). – Unveröff. Ber. BMWF, 45 S., Wien.
- PIRKL, H., JESCHKE, H.P., HEINRICH, M., KLEIN, P. & LIPIARSKI, P. (1991): Erhebung und Bewertung des Mineralrohstoff- und Georiskopotentials des Hausrucks in Bezug auf dessen Gesamt-Naturraumpotential. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-C-004c/90, 20 S., Wien.
- PIRKL, H., POLLAK, M., THALMANN, F. & WENZEL, W. (1993): Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen. Endbericht 1. Phase. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 79 S., 13 Beil., Eisenerz.
- PIRKL, H., NEINAVAI, H., HAUSBERGER, G., SCHERMANN, O. & SCHEDL, A. (1996): Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen 2. Phase. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Projekt „Alpe-Adria“ im Auftrag des BMWFK, 110 S., 2 Text- u. Beil. Bde., 1 Atlasbd., Wien–Eisenerz–Leoben.
- PIRKL, H., LIPIARSKI, P. & SCHEDL, A. (1998): Metadatendokumentation öffentlich zugänglicher Datensätze raumbezogener geochemischer Kartierungen in Österreich („Metadaten Österreich“). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., VLG-Projekt ÜLG-044/1996, 24 S., Wien.
- PIRKL, H., KOHLMAIER, C., NEINAVAI, H. & UMFER, T. (1999): Naturraumressourcen und Umweltsituation der Gemeinde Eisenerz – naturwissenschaftliche Basis für einen Imagewandel der Region. Abschlußbericht 3. Projektjahr. – Unveröff. Ber. GeoÖko, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-U-086/97, 35 S., Eisenerz.
- PIRKL, H., SCHEDL, A. & ATZENHOFER, B. (2001): Schwermetalle im Trinkwasser. Quellbeprobung Juli-August 2001. Hydrochemische Charakteristik. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, 27 S., Wien.
- PIRKL, H., HEINRICH, M., PFLEIDERER, S., REITNER, H., KLEIN, P. & DECKER, K. (2003): Geochemical background values of groundwater, rocks and soils in the Northern Calcareous Alps of Upper and Lower Austria. – Abstract Volume, First Conference on Applied Environmental Geology (AEG '03) in Central and Eastern Europe, Vienna Oct. 7–10th 2003, UBA Ber., **BE-228**, 192–193, Wien.
- PIRKL, H., KLEIN, P. & NEINAVAI, H. (2005): Charakterisierung von Gewässern und Grundwässern. – Unveröff. Teilber. 1. Jahr, Bund-Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-061/2005 (Geogenes Naturraumpotential Bezirk Tulln), Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeologie, 28 S., Wien.
- PIRKL, H., KLEIN, P., SCHEDL, A. & PFLEIDERER, S. (2008): Die systematische Bach- und Flusssedimentgeochemie Österreichs – Gesamtübersicht, Auswertungsschritte und Nutzungsperspektiven. – In: SCHEDL, A. (Red.): 30 Jahre Angewandte Geochemie in Österreich: Von der Prospektionsgeochemie zur Angewandten Umweltgeochemie: Fachsymposium Wien – Geologische Bundesanstalt 6.–7. November 2008. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 10–12, Wien.
- PLANT, J.A., KLAVER, G., LOCUTURA, J., SALMINEN, R., VRANA, K. & FORDYCE, F.M. (1997): The Forum of European Geological Surveys Geochemistry Task Group inventory 1994–1996. – J. Geochem. Explor., **59/2**, 123–146, Amsterdam.
- PLASS, N. (1988): Sedimente und Sedimentationsdynamik im Stauraum Mellach südlich Graz (Steiermark). – Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., **118**, 107–118, Graz.
- PLASS, N. (1990): Sedimente und Sedimentationsdynamik im Stauraum Mellach südlich Graz (Steiermark). – Unveröff. Diss. Univ. Graz, 139 S., 5 Kt., Graz.
- PLETICHA, H. (1986): Geochemische und geophysikalische Untersuchungen im Bereich der früheren Lagerstätte beim „Samer“ im oberen Kothgraben, Stubalpe/Stmk. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 119 S., 2 Kt., Leoben.
- POHLA, H., KASPEROWSKI, E., KANDELER, E. & BERTHOLD, A. (1994): Bodenbiologische, -chemische und -physikalische Erhebungen im Raum Brixlegg. Grundlagen, Bodenphysik, Bodenchemie und Vegetation. – UBA Rep., **99a**, 150 S., Wien.
- POLEGEG, S. (1971): Prospektion, Untersuchung und Bewertung von Quecksilbervorkommen in Kärnten. – Unveröff. Diss. Montan. Hochsch. Leoben, 125 S., Leoben.
- POLEGEG, S. (1980): Jahresendbericht Projektphase 1980 Pegmatitvorkommen im Waldviertel. – Unveröff. Teilber. FREN, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-014/80, 5 S., 1 Kte., Leoben.
- POLEGEG, S. (1981): Ergänzungen zum Jahresendbericht NA 14/80, Pegmatite. – Unveröff. Ber. FREN, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-014/80, 52 S., Leoben.
- POLEGEG, S. (1984): Technisch-wirtschaftliche Bewertung der Ultramafite des Waldviertels und des Dunkelsteinerwaldes: Endbericht 1983. – Unveröff. Ber. FREN, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-032b/83, 63 S., Leoben.
- POLEGEG, S. (1984): Pegmatitvorkommen im Waldviertel. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., 121–124, Wien.
- POLEGEG, S. & POPP, F. (1986): Rohstoffpotential im NE von Naintsch (Raum Wassegg–Birkfeld–Anger–Heilbrunn). – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **7**, 195–198, Wien.
- POLEGEG, S. & PUNZENGRUBER, K. (1980): Pegmatitvorkommen im Waldviertel. Jahresendbericht, Projektphase 1980. – Unveröff. Ber. FREN, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-014/80, 5 S., Leoben.
- POLEGEG, S. & PUNZENGRUBER, K. (1982): Endbericht zum Projekt NA 14a/80-81 Pegmatitvorkommen im Waldviertel. – Unveröff. Ber. FREN, 84 S., Leoben.
- POLEGEG, S. & PUNZENGRUBER, K. (1983): Rohstoffpotential nordöstlich von Naintsch; Endbericht 1983. – Unveröff. Ber. FREN, Bund-Bundesländer Projekt St-A-040/83, 39 S., Leoben.
- POLEGEG, S., CEIPEK, N., PUNZENGRUBER, K. & SCHÜSSLER, F. (1977): Geochemische Untersuchungen der Bachsedimente auf Cu, Ni, Au im Kristallin nördlich bzw. nordöstlich der Mur, Bereich Fohnsdorf–Scheifling. – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergbau Landesmus. Joanneum, **38**, 105–108, Graz.
- POLLAK, M., THALMANN, F. & WENZEL, W.W. (1991): „Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen“ 1. Zwischenbericht. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 14 S., Eisenerz–Wien.
- PORTUGALLER, T. (2010): Scheelitvererzungen im Thurntaler Quarzphyllitkomplex, Osttirol: Petrographische und chemische Untersuchungen an Nebengesteinen und Bachsedimenten. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 144 S., Leoben.
- POSCHER, G. (1993): Geochemisch-technische Eigenschaften von Karbonatgesteinen der Nördlichen Kalkalpen Oberösterreichs. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **16**, 83–102, Wien.

- POSCHER, G. & MOSTLER, H. (1991): Karbonatrohstoffe in Oberösterreich: Endbericht, Teil 1 – Übersicht: Geochemisch-technische Eigenschaften oberösterreichischer Karbonatgesteinsvorkommen; Teil 2 – Untersuchungsgebiete von OA 19/2. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-019/89, 39 + 34 S., Innsbruck.
- POULTIDIS, C. (1981): Petrologie und Geochemie basaltischer Gesteine des Steirischen Vulkanbogens in der Steiermark und im Burgenland. – Diss. Univ. Wien, 146 S., Wien.
- POULTIDIS, C. & SCHARBERT, H.G. (1986): Bericht über geochemisch-petrologische Untersuchungen an basaltischen Gesteinen des österreichischen Teils der Transdanubischen vulkanischen Region. – Anz. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., **123**, 65–76, Wien.
- PRAZAN, H. (1990): Über Schwebstoffablagerungen in den Stauräumen der Donaukraftwerke in Österreich. – Öst. Wasserwirtschaft, **42**, 73–84, Wien.
- PREUSSAG AG – METALL (1973): Projekt ‚NE-Metalle, Karnische Alpen, Österreich – Italien‘, Geochemische Prospektion 1973, Konzessionsgebiet Österreich, Bachsedimente, Böden, Schwermineralproben, Gesteine [Karten]. – Unveröff. Ber., Preussag-Metall-Archiv, 19 S., 37 Kt., Goslar.
- PREUSSAG AG – METALL (1975): Prospektion der Preussag AG Metall in Osttirol 1975. Abschlußbericht 1975. – Unveröff. Ber., Preussag-Metall-Archiv, 10 S., Goslar.
- PREUSSAG AG – METALL (1975): Projekt: NE-Metalle, Karnische Alpen, Österreich, Geochemische Prospektion 1975, Thurmtaler Quarzphyllit [Karten]. – Unveröff. Ber., Preussag-Metall-Archiv, 17 Kt., Goslar.
- PREUSSAG AG – METALL (1976): Prospektion auf NE-Metalle in Osttirol. – Unveröff. Ber., Preussag-Metall-Archiv, 11 S., 1 Kt., Goslar.
- PREUSSAG AG – METALL (1976): Prospektion der Preussag AG Metall in Osttirol 1975. Abschlußbericht 1975. – Unveröff. Ber., Preussag-Metall-Archiv, 10 S., Goslar.
- PRIMOSCHITZ, E. (1988): Bodenprobennahme und geochemische Analyse auf Kupfer im Bereich der sulfidischen Vererzungen von Bärndorf und Büschendorf. – Unveröff. Meldearb. Montanuniv. Leoben, 11 S., Leoben.
- PROCHASKA, W. (1981): Bericht über die Untersuchung an Bodenproben und Streamsedimenten des Hochgrössengebietes. – Unveröff. Ber. MUL, 9 S., Graz.
- PROCHASKA, W. (1984): Geochemische Untersuchungen an österreichischen Talklagerstätten. – Fortschr. Min., **62**, Bh. 1, 188–189, Stuttgart.
- PROCHASKA, W. (1985): Endbericht zum Projekt „Geochemische Untersuchungen von Graphitschiefern“ und Erstellung von Prospektionsparametern in Zusammenhang mit deren Sedimenten und Böden. – Unveröff. Ber. MUL, 14 S., Wien.
- PROCHASKA, W. (1987): Eine kostengünstige und effiziente Prospektionsmethode zur Aufsuchung verdeckter Talkvorkommen. – Berg- u. Hüttenmänn. Mh., **132**, 570–575, Wien.
- PROCHASKA, W. (1988): Geologie, Geochemie und Genese der ostalpinen Talklagerstätten. – Unveröff. Habil.-Schr. Montanuniv. Leoben, 5 + 253 S., Leoben.
- PROCHASKA, W. (1998): Geologische und geochemische Untersuchungen an der Talklagerstätte Lassing (Steiermark). – Arch. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **10**, 99–114, Wien.
- PROCHASKA, W. (1998): Geochemistry and genesis of Austrian talc deposits. – Applied Geochemistry, **4**, 511–525, Amsterdam.
- PROCHASKA, W. & EBNER, F. (1989): Geochemische Untersuchungen an Metavulkaniten der Veitscher Decke/Grauwackenzone. – Sitz.-Ber. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abt. I, **197**, 191–205, Wien.
- PROCHASKA, W. & RANTITSCH, G. (2004): Die Verteilungsmuster von Schwermetallen im Bereich eines urzeitlichen Kupferschmelzplatzes im Palental. – res montanarum, **33**, 23–27, Leoben.
- PROSKE, H., GRÄF, W., JÖBSTL, P., REINHOFER, M., SCHWENDT, A., STEINLECHNER, E. & UNTERSWEIG, T. (2001): Abfallwirtschaftliche Anforderungen an den Bergbau in der Steiermark für den Übergang zu einer nachhaltigen Stoffflusswirtschaft. Projektphase 1. – Unveröff. Ber. FGJ, 328 S., Graz.
- PROSKE, H., GAISBERGER, G., GRÄF, W., KELLERER-PIRKLBAUER, W., PLASS, N., REINHOFER, M., RINESCH, C. & UNTERSWEIG, T. (2002): Abfallwirtschaftliche Anforderungen an den Bergbau in der Steiermark für den Übergang zu einer nachhaltigen Stoffflusswirtschaft. Projektphase 2. – Unveröff. Ber. FGJ, 243 S., 175 S., Graz.
- PROSKE, H., GAISBERGER, G., GRÄF, W., KELLERER-PIRKLBAUER, W. & POLTNIIG, W. (2005): Abfallwirtschaftliche Anforderungen an den Bergbau in der Steiermark für den Übergang zu einer nachhaltigen Stoffflusswirtschaft. Projektphase 3. – Unveröff. Ber. FGJ, 274 S., 206 S., Graz.
- PUHL, J. (2000): Vergleichende Petrologie und Geochemie von ultramafischen Massiven der Ostalpen. – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, 307 S., Leoben.
- PUHL, J., MELCHER, F. & MEISEL, T.C. (1998): Geochemische Charakteristika von ultramafischen Gesteinen der Ostalpen. – Mitt. Öst. Min. Ges., **143**, 366–368, Wien.
- PUNZENGRUBER, K. (1975): Planung, Durchführung und Effizienz geochemischer Prospektionsarbeiten. Kurzbericht über Arbeiten im Grazer Paläozoikum, in den Karnischen Alpen und im Gebiet Bleiberg-West. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **120**, 480–484, Wien.
- PUNZENGRUBER, K., POLEGEG, S. & SCHERER, J. (1977): Geochemische Untersuchung von Bachsedimenten im Kristallin nördlich von Knittelfeld und ihre Bedeutung für die Lagerstättensuche. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **122**, 66–70, Wien.
- PUNZENGRUBER, K., KLEINDL, F., HAMEDINGER, G. & WEBER, L. (1981): Nickelprospektion im Gebiet um Naintsch, Oststeiermark: Endbericht zum Projekt St-A-16. – Unveröff. Ber. FREN, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-016/80, 49 S., Leoben.
- PUTRE, M. (1986): Vorkommen von Arsen, Selen, Antimon, Quecksilber, Thallium und Wismut in Oberflächenwässern und deren Sedimenten sowie in Grund- und Quellwässern in Österreich. – Unveröff. Dipl.-Arb. BOKU Wien, 138 S., Wien.
- PUXBAUM, H. & WINIWARTER, W. (Ed.) (2011): Advances of atmospheric aerosol research in Austria. – Interdisciplinary perspectives, **2**, 144 S., Wien.
- QUADT, A. v. (1985): Geochronologische, geochemische und isotopengeochemische Untersuchungen an Gesteinen der Habach-Formation, der Scheelitlagerstätte und des angrenzenden Altkristallins im Felbertal (Land Salzburg). – Unveröff. Diss. ETH Zürich, 241 S., Zürich.
- QUEDNAU, M.S. (1993): Gold in der Kreuzeck- und Goldeck- Gruppe, Kärnten, Österreich – Geochemie und Metallogenie. – Berliner geowiss. Abh. (A), **154**, 138 S., Berlin.
- RAINER, P. (1968): Geochemische Untersuchungen von Bodenproben bei dem ehemaligen Kupferbergbau im Hartlegraben (Kaisersberg, Steiermark). – Unveröff. Meldearb. Mont. Hochsch. Leoben, 4 S., Leoben.
- RAITH, J.G. (1983): Die Scheelitvererzung auf der Klamm Alm, Navis, Tirol und ihr geologischer Rahmen. – Unveröff. Vorarb. Univ. Wien, 68 S., Wien.

- RAITH, J.G. (1983): Geologische Bearbeitung neugefundener Scheelitvererzungen in den Ostalpen. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 39 S., Eisenerz.
- RAITH, J.G. (1991): Stratabound tungsten mineralization in regional metamorphic calc-silicat rocks from the Austroalpine Crystalline Complex, Austria. – *Mineralium Deposita*, **26**, 72–80, Berlin.
- RANK, D., MARINGER, F.J., KAPPEL, F. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1985): Übersichtsuntersuchung an Feinsedimenten aus den Stauräumen des österreichischen Donauabschnittes III: Gammaskpektrometrische Untersuchungen – In: INTERNATIONALE ARBEITSGEMEINSCHAFT DONAUFORSCHUNG (Hrsg.): 25. Arbeitstagung der IAD, Bratislava / Tschechoslowakei 1985: Wissenschaftliche Kurzreferate, 108–112, Bratislava.
- RANK, D., KRALIK, M., AUGUSTIN-GYURITS, K., MARINGER, F.J. & RAJNER, V. (1987): Investigation of Sediment Transport in the Austrian part of the Danube using Environmental Isotopes. – *The Use of Isotope Techniques in Water Resources Development*, 637–646, IAEA, Wien.
- RANK, D., MARINGER, F.J., RAJNER, V., UNFRIED, E., AUGUSTIN-GYURITS, K. & KRALIK, M. (1987): Radiometrische Untersuchungen an einem Bohrkern aus dem Donaustauraum Aschach. – In: INTERNATIONALE ARBEITSGEMEINSCHAFT DONAUFORSCHUNG (Hrsg.): 26. Arbeitstagung der Internat. Arbeitsgem. Donauforsch., 90–93, Passau.
- RANTITSCH, G. (1998): GIS-unterstützte Modellierung der Geochemie von Bachsedimenten in den Kärntner Nockbergen (Österreich). – 4. Arbeitstagung Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes, GTI BVFA Arsenal, 170–183, Wien.
- RANTITSCH, G. (1998): GIS-unterstützte Modellierung der Geochemie von Bachsedimenten in den Kärntner Nockbergen (Österreich). – Unveröff. Ber. MUL, 37 S., Leoben.
- RANTITSCH, G. (2000): Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream sediment geochemistry. – *J. Geochem. Expl.*, **71**, 73–82, Amsterdam.
- RANTITSCH, G. (2000): The fractal properties of geochemical landscapes as an indicator of weathering and transport processes within the Eastern Alps. – *Terra Nostra*, **2000/1**, 88, Köln.
- RANTITSCH, G. (2001): Reconstruction of geological processes using statistical methods and thermal modeling in the Eastern and Southern Alps. – Unveröff. Habil.-Schr. Montanuniv. Leoben, 97 + 13 S., Leoben.
- RANTITSCH, G. (2004): Geochemical exploration in a mountainous area by statistical modeling of polypopulational data distributions. – *J. Geochem. Expl.*, **82**, 79–95, Amsterdam.
- RANTITSCH, G. (2007): Robust sequential Factor Analysis of geochemical data from the Permian-Triassic Gartnerkofel-1 core (Southern Alps): the geochemical response to changing paleo-oceanographic conditions in shallow-marine carbonate platforms. – *Facies*, **53**, 129–140, Erlangen.
- RANTITSCH, G. (2007): Organische Metamorphose in der westlichen Grauwackenzone. Teilprojekt zum Schwerpunktsprojekt: Stoffmobilitäten und die Bildung von Minerallagerstätten in den Ostalpen während der alpidischen Orogenese: Endbericht. – Unveröff. Ber. MUL, 21 S., Leoben.
- RANTITSCH, G., & RUSSEGGGER, B. (2009): Statistische Auswertung und Visualisierung der Isotopendaten österreichischer Rohstoffvorkommen. Isotopen-Datenbank: Endbericht. – Unveröff. Endber. MUL/ÖAW, 17 S., Leoben.
- RANTITSCH, G., SACHSENHOFER, R.F. & SCHROLL, E. (1995): Anorganische Geochemie mesozoischer Kohlen der Ostalpen (Österreich). – *Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A.*, **18**, 121–133, Wien.
- RANTITSCH, G., MELCHER, F., MEISEL, T. & RAINER, T.M. (2003): Rare earth, major and trace elements in Jurassic manganese shales of the Northern Calcareous Alps: Hydrothermal versus hydrogenous origin of stratiform manganese deposits of the Eastern Alps. – *Mineralogy and Petrology*, **77**, 109–127, Wien.
- RANTITSCH, G., MÜLLER, N. & EBNER, F. (2004): Geochemische und mineralogische Untersuchungen an pannonischen Sedimenten der Ton-Lagerstätte Mataschen (Steirisches Becken, Österreich). – *Joannea-Geologie und Paläontologie*, **5**, 219–230, Graz.
- REDEN, G. (1991): Beiträge zur Geologie, Geophysik und Geochemie der Gesteine und Mineralisationen im Gebiet der Goldvorkommen in den Hohen Tauern (Badgastein-Kolm-Saigurn-Heiligenblut) mit besonderer Berücksichtigung der Gangmineralisationen. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 286 S., Wien.
- REIMANN, C. (1979): Forschungsprojekt Kreuzeckgruppe – Bericht. – Unveröff. Ber. MUL, 4 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1979): Forschungsprojekt Gurktal. – Unveröff. Ber. MUL, 50 S., zahlr. Kt., Leoben.
- REIMANN, C. (1980): Bodenprobenprospektion auf Antimonit im Bereich der Radlbergalm (Kreuzeckgruppe, Kärnten). – Unveröff. Ber. MUL, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 10 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1980): Lithochemische und schichtgebundene Vererzung, Kreuzeckgruppe, Kärnten, Österreich. – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, 240 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1980): Ergebnisse der geochemischen Bodenprobenprospektion 1980. – Unveröff. Ber. MUL, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/80, 5 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1980): Erzmikroskopische, mineralchemische und petrochemische Untersuchungen im Gebiet der Gurktaler Alpen. – *Berg- u. Hüttenm. Mh.*, **125**, 595–598, Wien.
- REIMANN, C. (1981): Geochemische Prospektion auf Blei-Zink Vererzungen im Gebiet der Gurktaler Alpen. *Bodengeochemie*. – Unveröff. Ber. MUL, 34 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1981): Forschungsprojekt Kreuzeckgruppe. Ergebnisse der geochemischen Bodenprobenprospektion 1980. – Unveröff. Ber. MUL, 5 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1983): Vulkanismus, Metamorphose und Vererzung in der Kreuzeck-Gruppe, Kärnten. – *Mitt. Öst. Min. Ges.*, **128**, 97–98, Wien.
- REIMANN, C. (1985): Enddokumentation zu den Berichten ÜLG 3A + 3B „Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme des österreichischen Bundesgebietes“. – Unveröff. Ber. FGJ, 2 Bde., 1. Bd.: 253 S., 2. Bd.: 183 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1986): Externe Laborkontrolle für umweltbezogene Geochemieprojekte – Notwendigkeit oder übertriebener Aufwand. – *Mitt. Öst. Geol. Ges.*, **79** (Themenband Umweltgeologie), 175–191, Wien.
- REIMANN, C. (1987): Erläuterungen zur Auswertung und Kommentare zu den Ergebnissen. Ringversuch Projektstandard 2999. – Unveröff. Ber. FGJ, 60 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1988): Geochemische Untersuchungen an Bachsedimenten und Bodenproben in den Ostalpen. – Unveröff. Habil.-Schr. Montanuniv. Leoben, 342 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1988): Comparison of stream sediment and soil sampling for regional exploration in the Eastern Alps, Austria. – *J. Geochem. Explor.*, **30/31**, 75–85, Amsterdam.
- REIMANN, C. (1988): Interpretation der Ergebnisse des ersten Auswertungsschrittes und Ausblick auf die weiterführenden Arbeiten. – In: KÜRZL, H.: *Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes. Primärauswertung der Bachsedimentgeochemie*. – Unveröff. Ber. FGJ, Proj. ÜLG-18, 56 S., Leoben.

- REIMANN, C. (1989): Bodengeochemie zur Umweltbestandsaufnahme. – Unveröff. Ber. INTERCOM Umweltconsulting, 81 S., 99 S., Leoben.
- REIMANN, C. (1989): Reliability of Geochemical Analyses: Recent Experiences. – Prospecting in areas of glaciated terrain, 1988, 485–499, London.
- REIMANN, C. (1989): Results of a regional soil geochemical survey in the surroundings of the massive sulfide deposits Walchen, Styria. – Terra abstracts, **1–2**, 49, Oxford.
- REIMANN, C. (2007): Hintergrund und Schwellenwerte: Unbestimmte Größen? – Jb. Geol. B.-A., **147**, 243–253, Wien.
- REIMANN, C. (2008): The Future of Geochemistry at the Geological Surveys. – In: SCHEDL, A. (Red.): 30 Jahre Angewandte Geochemie in Österreich: Von der Prospektionsgeochemie zur Angewandten Umweltgeochemie: Fachsymposium Wien – Geologische Bundesanstalt 6.–7. November 2008. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 9, Wien
- REIMANN, C. & BIRKE, M. (Ed.) (2010): Geochemistry of European Bottled Water. – XI + 268 S., Stuttgart.
- REIMANN, C. & FILZMOSER, P. (2000): Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. – Environ. Geol., **39**/9, 1001–1014, Berlin.
- REIMANN, C. & STUMPFL, E.F. (1985): Paleozoic amphibolites, Kruzeck Mountains, Austria: Geochemical variations in the vicinity of mineralization. – Mineralium Deposita, **20**, 69–75, Berlin.
- REIMANN, C. & WURZER, F. (1986): Monitoring accuracy and precision – improvements by introducing robust and resistant statistics. – Microchimica Acta, **1986**/1–6, 31–42, Wien.
- REIMANN, C., DUTTER, F.R., KÜRZL, H., PEER, H. & WURZER, F. (1985): Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme. Teil 1a: Parameter der geochemischen Varianz sowie der Verfahrensvarianz (ÜLG3a). – Unveröff. Ber. FGJ, 1. Bd.: 111 S., Anh., 2. Bd.: Karten und Tafeln, Leoben.
- REIMANN, C., DUTTER, F.R., KÜRZL, H., PEER, H. & WURZER, F. (1985): Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme. Teil 2: Eichung Anomalieparameter bekannter Vererzungen (ÜLG3b/84). – Unveröff. Ber. FGJ, 2 Bde., 453 S., Leoben.
- REIMANN, C., KÜRZL, H., WEINZIERL, O. & WOLFBAUER, J. (1988): Primärauswertung der Bachsediment-Geochemie: Interpretation der Ergebnisse des ersten Auswertungsschrittes, Ergänzungsband zum Bericht vom März 1988. – Unveröff. Ber. FGJ, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-018/86, 38 S., Leoben.
- REIMANN, C., KÜRZL, W. & WURZER, F. (1988): Applications of Exploratory Data Analysis to Regional Geochemical Mapping. – In: THORTIN, I. (Ed.): Geochemistry and Health. Proceedings of the Second International Symposium, Monograph Series. – Environmental Geochemistry and Health, **2**, 21–27, Northwood.
- REIMANN, C., FILZMOSER, P. & GARRETT, R.G. (2002): Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. – Applied Geochemistry, **17**, 185–206, Amsterdam.
- REIMANN, C., SALMINEN, R. & DE VOS, W. (2008): The Geochemical Atlas of Europe. – In: SCHEDL, A. (Red.): 30 Jahre Angewandte Geochemie in Österreich: Von der Prospektionsgeochemie zur Angewandten Umweltgeochemie: Fachsymposium Wien – Geologische Bundesanstalt 6.–7. November 2008. – Ber. Geol. B.-A., **77**, 55–57, Wien.
- REIMANN, C., DEMETRIADES, A., EGGEN, O.A., FILZMOSER, P. & THE EUROGEOSURVEYS GEOCHEMISTRY EXPERT GROUP (2009): The EuroGeoSurveys geochemical mapping of agricultural and grazing land soils project (GEMAS) – Evaluation of quality control results of aqua regia extraction analysis. – NGU Report **2009.049**, 94 S., Geological Survey of Norway, Trondheim.
- REIMANN, C., FILZMOSER, P., FABIAN, K., HRON, K., BIRKE, M., DEMETRIADES, A., DINELLI, E., LADENBERGER, A. & THE GEMAS PROJECT TEAM (2012): The concept of compositional data analysis in practice – Total major element concentrations in agricultural and grazing land soils of Europe. – Science of the Total Environment, **426**, 196–210, Amsterdam.
- REIMANN, C., FLEM, B., FABIAN, K., BIRKE, M., LADENBERGER, A., NÉGREL, P., DEMETRIADES, A., HOOGEWERFF, J. & THE GEMAS PROJECT TEAM (2012): Lead and lead isotopes in agricultural soils of Europe – The continental perspective. – Applied Geochemistry, **27**, 532–542, Amsterdam.
- REINHOFER, M., PROSKE, H., PIRKL, H., TRINKAUS, P. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2003): Geogene Hintergrundbelastungen – Auswirkungen auf abfallwirtschaftliche Massnahmen. – Unveröff. Ber. Joanneum Research, 160 S., Graz.
- REINHOFER, M., PROSKE, H., PIRKL, H., KELLERER-PIRKLBAUER, A. & TRINKAUS, P. (2005): Geological Background – The Influence on Waste Management Concepts. – In: LECHNER, P. (Ed.): Waste Management in the Focus of Controversial Interests. – 1st BOKU Waste Conference 2005, 185–190, Wien.
- REINOLD, P. (1965): Beitrag zur Geochemie und Mineralogie der ostalpinen Salzlagerstätten. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 112 S., Wien.
- REITER, D. (2005): Geochemische Charakterisierung primärer und sekundärer Blei-Zink-Vererzungen des Grazer Paläozoikums (am Beispiel des Lagerstätte Arzberg / Oststeiermark). – Dipl.-Arb. Inst. f. Geol. d. Univ. Wien, 88 S., Biedermannsdorf.
- RESEARCH INSTITUTE FOR SOIL SCIENCE AND AGRICULTURAL CHEMISTRY (Ed.) (1990): International Workshop on Long term environmental risks for soils, sediments and groundwater in the Danube catchment area. Case Studies. – 56 S., Budapest.
- RISS, A., SCHWARZ, S., BENETKA, E. & REBLER, R. (1990): Schwermetalle in Böden und Grünlandaufwuchs in der Umgebung einer Kupferhütte in Brixlegg/Tirol. – VDI Berichte, **837**, 209–232, Düsseldorf.
- RONGE, W. & THALMANN, F. (1981): Regionale Wolfram-Molybdän-prospektion in Österreich: Geochemie 1980, Geochemische Sucharbeiten auf Wolfram und Molybdän im Gebiet der Öztaler, Stubai und Zillertaler Alpen der nördlichen Hohen Tauern. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-C-004a/80, T-C-004a/81, S-C-002a/80, S-C-002b/80, K-C-006/80, BiS. Geol. B.-A. / Wiss. Archiv Nr. A 05394-R, 3 Teile in 11 Bd., Eisenerz.
- SAGER, M. & BELOCKY, R. (1991): Zur Geochemie, Mineralogie und Sedimentologie von Feinsedimenten aus dem Donaustauraum Altenwörth, Niederösterreich. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **83** (1990) (Themenband Umweltgeologie), 267–281, Wien.
- SALMINEN, R., TARVAINEN, T., DEMETRIADES, A., DURIS, M., FORDYCE, F.M., GREGORAUSKIENE, V., KAHELIN, H., KIVISILLA, J., KLAVER, G., KLEIN, H., LARSON, J.O., LIS, J., LOCUTURA, J., MARSINA, K., MJARTANOVA, H., MOUVET, C., O'CONNOR, P., ODOR, L., OTTONELLO, G., PAUKOLA, T., PLANT, J.A., REIMANN, C., SCHERMANN, O., SIEWERS, U., STEINFELT, A., VAN DER SLUYS, T., DE VIVO, B. & WILLIAMS, L. (1998): FOREGS geochemical mapping: Field manual. – Geological Survey of Finland Guide, **47**, 36 S., Espoo.
- SAALTINK, R., GRIFFIOEN, J., MOL, G. & BIRKE, M. (2013): Geogenic and agricultural controls on the geochemical composition of European agricultural soils. – J. Soils Sediments, 10.1007/s11368-013-0779-y, 1–17, Berlin.
- SAUER, D. (1966): Ein Beitrag zur Geochemie der Bauxite. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 107, 34, 10, 79 S., Wien.
- SCHARF, S., PODESSER-KORNETI, L. & STADLBAUER, H. (1995): Grundwasseruntersuchungen im Müritzal in der Umgebung von Industrialtstandorten. – UBA Rep., **118**, 85 S., Wien.

- SCHEDL, A. (Red.) (2008): 30 Jahre angewandte Geochemie in Österreich. Von der Prospektionsgeochemie zur angewandten Umweltgeochemie (Fachsymposium Wien – Geologische Bundesanstalt 6.–7. November) – Ber. Geol. B.-A., **77**, 73 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B. & KURKA, M. (1996): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG 40/95, 113 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., NEINAVAI, H., HELLSCHMIDT-ALBER, J., RABEDER, J. & KURKA, M. (1997): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG 40/96, 171 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., LIPIARSKI, P., GROISS, R., THINSCHMIDT, A., RABEDER, J. & KURKA, M. (2000): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG 40/98, 166 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., LIPIARSKI, P. & RABEDER, J. (2001): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet („Bergbau-/Haldenkataster“) – Bundesland Salzburg. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG 40/99, 130 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., NEINAVAI, H., RABEDER, J., KLEIN, P. & WÜNSCHE, I. (2002): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet („Bergbau-/Haldenkataster“) – Bundesland Kärnten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG 40/2000-2001, 201 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., NEINAVAI, H., RABEDER, J. & LIPIARSKI, P. (2004): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet („Bergbau-/Haldenkataster“) – Bundesland Kärnten. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG 40/2001, 204 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., RABEDER, J., LIPIARSKI, P. & PROSKE, H. (2006): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet („Bergbau-/Haldenkataster“) – Bundesland Steiermark – Teil I. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG-040/2004, 154 S., Wien.
- SCHEDL, A., MAURACHER, J., ATZENHOFER, B., RABEDER, J., LIPIARSKI, P. & PROSKE, H. (2007): Systematische Erhebung von Bergbauhalden mineralischer Rohstoffe im Bundesgebiet („Bergbau-/Haldenkataster“) – Bundesland Steiermark – Teil II. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresendber. Proj. ÜLG-040F/2005, 186 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S., MAURACHER, J. & ATZENHOFER, B. (2009): Screening und Risikoabschätzung von Bergbauhalden in Österreich hinsichtlich Umweltgefährdung im Rahmen der nationalen Umsetzung der EU-Bergbauabfallrichtlinie 2006/21/EG. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Jahresber. 2008 Proj. ÜLG 55, 46 S., Wien.
- SCHEDL, A., PIRKL, H., PFLEIDERER, S., BENOLD, C. & PÖPPEL, L. (2010): Hydrogeologisch/hydrochemische Untersuchung ausgewählter Bergbauhaldenstandorte. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Teilmodul des Projektes ÜLG 58 / Stoffflussbewertung, 28 S., Wien.
- SCHEDL, A., LIPIARSKI, P., NEINAVAI, H., BENOLD, C., PFLEIDERER, S. & BIEBER, G. (2013): Bundesweite Erfassung von Rohstoffpotenzialen für kritische Rohstoffe gemäß der Kommissionsstudie, Kritische Rohstoffe für die EU (2010) – Datenaufbereitung betreffend Böhmisches Massiv, Ergebnisevaluierung als fachliche Basis zukünftiger Projektplanungen. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Proj. ÜLG 63, 128 S., Wien.
- SCHNEFFKNECHT, C. (2003): Untersuchung schwer abbaubarer Schadstoffe in hochalpinen Regionen Vorarlbergs. – Lebensraum Vorarlberg, **56**, 32 S., Bregenz.
- SCHNEIB, A.J., FLIGHT, D.M.A., BIRKE, M., TARVAINEN, T., LOCUTURA, J. & GEMAS PROJECT TEAM (2012): The geochemistry of niobium and its distribution and relative mobility in agricultural soils of Europe. – Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, **12**, 293–302, London.
- SCHNEIB, A.J., BIRKE, M., DINELLI, E. & GEMAS PROJECT TEAM (2014): Geochemical evidence of aeolian deposits in European soils. – Boreas, **43**, 175–192, Oxford.
- SCHNEIER, M. (2003): Fließgewässer in Vorarlberg. Güteuntersuchungen an den Hauptflüssen im Bundesland Vorarlberg gemäß Wassergüteeerhebungsverordnung. Aufnahmen 2002. – Kurzbericht UI-06/2003, 29 S., Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz.
- SCHERER, J. (1979): Geochemische Untersuchung von Bachsedimenten im Kristallin nördlich von Knittelfeld. – Unveröff. Meldearb. Montanuniv. Leoben, 21 S., Leoben.
- SCHERER, J. (1979): Blei-Zink-Haldenbeprobung, Bleiberger Sonnseite. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 91 S., Abb. 26, Tab. 12, 6 Anhänge, Leoben.
- SCHERER, J. (1980): Bericht über die Stream-Sediment- und Schwermineralbeprobung im Bereich der Kartenblätter Oberwart und Rechnitz (ÖK 1:50.000, 137, 138) 1980. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt B-C-002a/80, 5 S., 2 Kt., Leoben.
- SCHERER, J. (1980): Geochemische Untersuchung von Bachsedimenten im Raum Oberwart–Rechnitz: Bericht über die Untersuchung der nichtopaken Schwerminerale. – Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt B-C-002a/80, 19 S., 2 Kt., Leoben.
- SCHERER, J. (1980): Bericht über die Stream-Sediment- und Schwermineralbeprobung in den Ostkarawanken (ÖK 1:50.000, Kartenblätter 212 Vellach und 213 Eisenkappel). – Unveröff. Ber. BBU, 5 S., 1 Kt., Leoben.
- SCHERER, J. (1981): Bericht über die statistische Auswertung von chemischen Analysen aktiver Bachsedimente aus dem Gebiet der Gurktaler Alpen. – Unveröff. Ber., Inst. Min. u. Petr. MUL Leoben, 13 S., Leoben.
- SCHERER, J. (1981): Bericht über die statistische Auswertung der chemischen Analysen von aktiven Bachsedimenten aus den Karawanken. – Unveröff. Ber. BBU, 45 S., 10 Kt., Leoben.
- SCHERER, J. (1982): Überregionale geochemische Beprobung im Grazer Bergland östlich der Mur (ÖK 134, 135, 136 und Nordteil von 164, 165, 166): Endbericht. – Unveröff. Ber. BBU, 6 S., Bad Bleiberg.
- SCHERER, J. (1983): Montangeologische Untersuchungen im Paläozoikum und der Koschuta-Trias der Ostkarawanken (Kärnten). – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, 318 S., Leoben.
- SCHERER, J. (2003): Der Waldboden im Pfändergebiet. Zustand und Stoffdynamik. – Lebensraum Vorarlberg, **56**, 27 S., Bregenz.
- SCHERER, J. & CERNY, I. (1981): Endbericht zum Forschungsprojekt: Geochemische Untersuchungen von Bachsedimenten im Raum Oberwart–Rechnitz. – Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt B-C-002a/80, 1 S., 5 S., 19 S., Leoben–Bad Bleiberg.
- SCHERIAU, E. (1965): Geologie und geochemische Verteilung von Blei und Zink in den östlichen Gailtaler Alpen zwischen Graslitzen und Kobesnock. – Unveröff. Diss. Montan. Hochsch. Leoben, 76 S., Leoben.
- SCHERIAU-NIEDERMAYR, E. (1973): Geochemische Untersuchungen über die Verteilung von Zink und Blei in den mesozoischen Gesteinen des Drauzuges und der Karawanken (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, **83** (Mitt. Naturwiss. Ver. Ktn.), **163**, 147–168, Klagenfurt.

- SCHERMANN, O. (1976): Bericht 1975 über hydrogeochemische Untersuchungen auf Fluorgehalte in Bachwässern auf den Blättern 34, Perg und 35, Königswiesen. – Verh. Geol. B.-A., **1976**, A73–A74, Wien.
- SCHERMANN, O. (1979): Richtlinien für die Dokumentation von Probepunktengem. Pkt. 4 der ÖNORM G 1031. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 9 S., Wien.
- SCHERMANN, O. (1979): Richtlinie für die Entnahme von Proben des Projektes 'Systematisch geochemische Untersuchung des Bundesgebietes' sowie ihre Aufbereitung. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 7 S., Wien.
- SCHERMANN, O. (1989): WEGS Low density sampling – Pilot Project Austria. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 4 S., Wien.
- SCHERMANN, O. (1995): Die Geochemie als Methode zur Lagerstättensuche und neue Anwendungen in der Umwelterkundung. – Kurfassung der Vorträge, Barbara-Gespräche 1995, Geoschule Payerbach, 4 S., Payerbach.
- SCHERMANN, O. & ALBER, H. (1981): Flußspatprospektion in den östlichen Kalkalpen auf hydrogeochemischer Grundlage: Endbericht 1980 für das Projekt NA 15/1980. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 34 S., Wien.
- SCHERMANN, O. & ALBER, J. (1983): Flußspatprospektion auf hydrochemischer Grundlage in den niederösterreichischen Kalkalpen (NA 14b/81). – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 62 S., Wien.
- SCHERMANN, O. & OTTESEN, R.T. (1990): Field work. – In: BOGEN, J., DEMETRIADES, A. & OTTESEN, R.T.: Western European Geological Surveys working group on regional geochemical mapping – Geochemical mapping of Western Europe towards the year 2000; Appendix No. 1 to the project proposal, 2–3, Trondheim.
- SCHERMANN, O., ALBER, J., CEIPEK, N., KLEIN, P., MALECKI, G., PASAUER, U. & EXEL, R. (1983): Erforschung geochemischer Prospektionsmethoden in Karbonatgesteinen: Endbericht 1983. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-005/80, VII + 76 S., Wien.
- SCHERMANN, O., OTTESEN, R.T. & BOGEN, J. (1988): Western European Geological Surveys working group on regional geochemical mapping – Report on the field-excursion in Austria, October 1988. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 6 S., Trondheim.
- SCHERMANN, O., SCHEDL, A., LIPIARSKI, P., REITNER, H. & NEINAVIAIE, H. (1994): Erhebung und Bewertung ehemaliger Bergbau- und Hüttenstandorte hinsichtlich Risiko- und Folgenutzungspotentials – Haldenkataster. – Unveröff. Ber., Projekt ÜLG 36/93, 264 S., Wien.
- SCHIBL, R.J. (1997): Umweltgeologie. Umweltgeologische Aspekte ausgewählter historischer Blei-Zink-Bergbau- und Hüttenstandorte des Grazer Paläozoikums (Deutschfeistritz, Schrems-Rechberg, Hinterberg-Taschen). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Graz, 108 S., Graz.
- SCHITTER, F. (1997): Spurenelementkonzentrationen in den gesteinsbildenden Mineralen des Gebhartser Diorits und des Eisgarner Granits, bestimmt mittels der Instrumentellen Neutronenaktivierungsanalyse. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Salzburg, 75 S., Salzburg.
- SCHLAEGEL-BLAUT, P. (1990): Der basische Magmatismus der nördlichen Grauwackenzone, oberostalpinen Paläozoikum. – Abh. Geol. B.-A., **43**, 1–149, Wien.
- SCHLÜTER, J. (1979): Mikroskopische und geochemische Untersuchungen an der Kieslagerstätte Walchen (Steiermark, Österreich). – Dipl.-Arb. Univ. Hamburg, 90 S., Hamburg.
- SCHLÜTER, J., TARKIAN, M. & STUMPFL, E.F. (1984): Die stratiforme Sulfidlagerstätte Walchen, Steiermark, Österreich: Geochemie und Genese. – TMPM, III.F., **33**, 287–296, Wien.
- SCHMID-RUZICKA, S. (1996): Orientierende chemische Untersuchungen von Bächen und Flüssen der Bundesländer Burgenland und Steiermark. – UBA Ber., **72**, 38 S., Wien.
- SCHMID-RUZICKA, S. & SCHÜTZ, C. (1997): Fließgewässer in Kärnten, Tirol und Vorarlberg. Orientierende chemische Untersuchungen auf kommunale Belastungen. – UBA Ber., **102**, 101 S., Wien.
- SCHMIDT, F. (1993): Geochemische Prospektion. – In: BRIX, F. & SCHULTZ, O.: Erdöl und Erdgas in Österreich, 2. Aufl., 89–94, Wien–Horn.
- SCHMÖLLER, R. & WEBER, F. (1982): Montangeophysikalische Untersuchung geochemischer Anomalien im Waldviertel. – Unveröff. Ber. MUL, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-A-017/81, 9 S., Leoben.
- SCHOLGER, R. (1988): Methodik umweltgeologischer Sedimentuntersuchungen. – Informationstreffen Österreichischer Sedimentologen Innsbruck, 29./30. April 1988, 4–5, Innsbruck.
- SCHOLGER, R. (1990): Sedimentation und Gefüge rezenter Flußsedimente der Mur (Steiermark). – Unveröff. Diss. Univ. Graz, 129 S., 7 Kt., Graz.
- SCHOLGER, R. (1998): Heavy metal pollution monitoring by magnetic susceptibility measurements applied to sediments of the river Mur (Styria, Austria). – Eur. J. Environ. Engin. Geoph., **3**, 25–37, Bilthoven.
- SCHOLGER, R. (2001): Application of palaeomagnetism in environmental, stratigraphic and geodynamic investigations. – Habil.-Schr. Univ. Graz, Getr. Zähl., Enth. 6 Sonderabdr. (1998–2000), Graz.
- SCHOLGER, R. & HANESCH, M. (2000): Einsatz geophysikalischer Meßmethoden als ökonomische Indikatoren für geogene und anthropogene Schwermetallanreicherung in Böden der Steiermark: Endbericht. – Unveröff. Ber. MUL, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-U-097/99, 42 S., Leoben.
- SCHÖNBAUER, A., BRUNNER, P.H., REINER, I., GLENCK, E., SMIDT, E., OBERNOSTERER, R., SCHACHERMAYER, E., RECHBERGER, H., FEHRINGER, R., DAXBECK, H. & STARK, W. (1997): Zukünftige Anforderungen an die Abfallwirtschaft in der Steiermark für den Übergang zu einer nachhaltigen Stoffflußwirtschaft (AWS Steiermark). – 228 S., TU Wien, Inst. Wassergüte und Abfallwirtschaft, Wien.
- SCHÖNHUBER, P. (1987): Digitale Kartenherstellung in Rahmen von geochemischen Bestandsaufnahmen. – Unveröff. Seminararb. Univ. Wien, Inst. f. Geographie, 58 S., Wien.
- SCHRAUDER, M. (1991): Petrologie und Geochemie der graphitführenden Gesteine der südlichen Böhmisches Masse (Bunte Serie, Niederösterreich). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 181 S., Wien.
- SCHROLL, E. (1950): Beiträge zur Geochemie und Genesis der Blei- und Zinklagerstätte Bleiberg-Kreuth. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 218 S., Wien.
- SCHROLL, E. (1954): Ein Beitrag zur geochemischen Analyse ostalpiner Blei-Zink-Erze. – Mitt. Öst. Min. Ges., Sh. **3**, 85 S., Wien.
- SCHROLL, E. (1955): Über das Vorkommen einiger Spurenelemente in Blei-Zinkerzen der ostalpinen Metallprovinz. – TMPM, III.F., **5/3**, 183–208, Wien.
- SCHROLL, E. (1958): Die ostalpine Vererzung im Lichte der geochemischen Forschung. – TMPM, III.F., **6**, 409–411, Wien.
- SCHROLL, E. (1958): Das Aufsuchen von Erzlagerstätten mit Hilfe geochemischer Methoden. – TMPM, III.F., **6**, 429–432, Wien.
- SCHROLL, E. (1966): Zur Geochemie der seltenen Elemente in granitoiden Gesteinen. – TMPM, III.F., **11**, 317–347, Wien.
- SCHROLL, E. (1967): Über den Wert geochemischer Analysen bei stratigraphischen und lithologischen Untersuchungen von Sedimentgesteinen am Beispiel ausgewählter Profile der ostalpinen Trias. – Geol. Sbornik, **18/2**, 315–330, Bratislava.

- SCHROLL, E. (1971): Beitrag zur Geochemie des Bariums in Carbonatgesteinen und klastischen Sedimenten der ostalpinen Trias. – *TMPM*, III.F., **15**, 258–278, Wien.
- SCHROLL, E. (1978): Zur Korrelation geochemischer Charakteristika der Blei-Zink-Lagerstätte Bleiberg-Kreuth mit anderen schichtgebundenen Vererzungen in Karbonatgesteinen. – *Öst. Akad. Wiss., Schriftenr. erdwiss. Komm.*, **3**, 131–158, Wien.
- SCHROLL, E. (1979): Beitrag der Geochemie zur Kenntnis der Lagerstätten der Ostalpen. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1978/3**, 461–470, Wien.
- SCHROLL, E. (1979): Trace elements in kaolinites and bauxites in relation to their genesis. – *Acad. Yougoslave Sc. Arts*, **15**, 35–41, Zagreb.
- SCHROLL, E. (1979): Progress in the knowledge of indicator elements. – In: AHRENS, L.H. (Ed.): *Origin and distribution of the elements*, 213–216, Berlin.
- SCHROLL, E. (1983): Geochemical Characterization of the Bleiberg Type and Other Carbonate Hosted Lead-Zinc-Mineralizations. – *Proceed. IV. ISMIDA (Berchtesgaden)*, 189–197, Berlin.
- SCHROLL, E. (1984): Geochemical indicator parameters of lead-zinc ore deposits in carbonate rocks. – In: WAUSCHKUHN, A., KLUTH, C. & ZIMMERMANN, R.A. (Eds.): *Syngeneses and epigenesis in the formation of mineral deposits*, 294–305, Berlin.
- SCHROLL, E. (1985): Die Minerale Österreichs. – *Mitt. Öst. Min. Ges.*, **130**, 33–44, Wien.
- SCHROLL, E. (1985): Blei-Zink-Lagerstätten in Sedimenten. – *Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A.*, **6**, 157–165, Wien.
- SCHROLL, E. (1985): Geochemische Parameter der Blei-Zink-Vererzung in Karbonatgesteinen und anderen Sedimenten. – *Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A.*, **6**, 167–178, Wien.
- SCHROLL, E. (1985): From the guide element to the geochemical classification. – In: GERMANN, K. (Ed.): *Geochemical Aspects of the ore formation in recent and fossil sedimentary environments*. – *Monograph Series on Mineral Deposits*, 1–14, Berlin–Stuttgart.
- SCHROLL, E. (1986): Spurenelemente in heimischen Rohstoffen für Hochtechnologien. – *Berg- u. Hüttenm. Mh.*, **131**, 110–115, Wien.
- SCHROLL, E. (1986): Geochemie und Humanmedizin. – *Mitt. Öst. Geol. Ges.*, **79** (Themenband Umweltgeologie), 359–372, Wien.
- SCHROLL, E. (1990): Die Metallprovinzen der Ostalpen im Lichte der Geochemie. – *Geol. Rundschau*, **79**, 479–493, Stuttgart.
- SCHROLL, E. (2001): Zur geochemischen Charakterisierung von Lagerstätten. – *Mitt. Öst. Min. Ges.*, **146**, 266–268, Wien.
- SCHROLL, E. & AZER IBRAHIM, N. (1961): Beitrag zur Kenntnis ostalpiner Fahlerze. Teil III. Geochemische Untersuchungen ostalpiner Fahlerze. – *TMPM*, III.F., **7**, 70–105, Wien.
- SCHROLL, E. & JANDA, I. (1977): Das Vorkommen von Wolfram in Gesteinen der Ostalpen und der Böhmisches Masse. – *Anz. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abt. I*, **113/1**, 4–10, Wien.
- SCHROLL, E. & JANDA, I. (1977): Das Vorkommen von Molybdän in Gesteinen der Ostalpen und der Böhmisches Masse. – *Anz. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abt. I*, **114/12**, 203–209, Wien.
- SCHROLL, E. & RANTITSCH, G. (2005): Sulphur isotope patterns from the Bleiberg deposit (Eastern Alps) and their implications for genetically affiliated lead-zinc deposits. – *Mineralogy and Petrology*, **84**, 1–18, Wien.
- SCHROLL, E. & SAUER, D. (1964): Ein Beitrag zur Geochemie der seltenen Elemente in Bauxiten. – *Actes du Symposium*, **1**, 201–225, Zagreb.
- SCHROLL, E. & SAUER, D. (1968): Beitrag zur Geochemie von Titan, Chrom, Nickel, Cobalt, Vanadin und Molybdän in bauxitischen Gesteinen und das Problem der stofflichen Herkunft des Aluminiums. – *Acad. Yougoslave Sc. Arts*, **5**, 83–96, Zagreb.
- SCHROLL, E. & SAUER, D. (1985): Kombinierte Anwendung spektrochemischer Analysemethoden bei der Multielementanalyse geologischer Materials in Großserien. – In: SANSONI, B. (Ed.): *Instrumentelle Multielementanalyse*, 677–692, Weinheim.
- SCHROLL, E., HOLZER, H.-L., BUCHROITHNER, M.F., POLTNIK, W.F., RATSCHBACHER, L., NIEVOLL, J. & CERNY, I. (1980): Untersuchung des geochemischen Pb-Zn-Verteilungsmodelles in stilliegenden Blei-Zink-Revieren der Karawanken. – *Unveröff. Ber. BBU, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt*, 6 Berichte, 1 geol. Kt., Bad Bleiberg.
- SCHROLL, E., PAPESCH, W. & DOLEZEL, P. (1986): Beitrag der C- und O-Isotopenanalyse zur Genese ostalpiner Sideritvorkommen. – *Mitt. Öst. Geol. Ges.*, **78**, 181–191, Wien.
- SCHROLL, E., SIEGL, W. & PAK, E. (1989): Sulphur isotopes of minerals of Austrian magnesite occurrences. – *Monograph Series on Mineral Deposits*, **28**, 233–236, Berlin.
- SCHROLL, E., KÜRZL, H. & WEINZIERL, O. (1990): Geochemometrie – multivariate Charakterisierung von sedimentgebundenen Pb-Zn-Vererzungen auf der Basis geochemisch-geologischer Meßdaten und Fakten. – *Unveröff. Ber. FWF Proj. G67768 GEO*, 5 Bde., Wien–Leoben.
- SCHROLL, E., KÜRZL, H. & WEINZIERL, O. (1991): Geochemometrie (multivariate Charakterisierung und Klassifizierung) von sedimentgebundenen Pb-Zn-Vererzungen auf der Basis geochemisch geologischer Daten. – *Unveröff. Ber. FWF-Projekt 6798-GEO*, 6 Bde. (Text- und Auswerteband, 4 Dokumentationsbände), Leoben.
- SCHROLL, E., KÜRZL, H. & WEINZIERL, O. (1992): Geochemometrical Studies applied to the Pb-Zn-Deposit Bleiberg/Austria. – *Unveröff. Ber. ÖAW (Kommission für Grundlagen der Mineralrohstoff-Forschung)*, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-032/88, 35 S., Wien.
- SCHROLL, E., KÜRZL, H. & WEINZIERL, O. (1994): Geochemometrical studies applied to the Pb-Zn deposit Bleiberg/Austria. – In: FONBOTÉ, L. & BONI, M. (Eds.): *Sediment hosted Zn-Pb ores*, 228–245, Berlin.
- SCHROLL, E., KÜRZL, H. & WEINZIERL, O. (1996): Geochemometrische Charakterisierung sedimentgebundener Blei-Zink-Vererzungen mittels multivariater Techniken. – *Berg- u. Hüttenm. Mh.*, **141**, 158–164, Wien.
- SCHWARZ, S. (2004): Ableitung von Bodenreferenzwerten auf Basis des österreichweiten Bodeninformationssystems BORIS. – *Unveröff. Diss. BOKU Wien*, 166 S., Wien.
- SCHWARZ, S. & FREUDENSCHUH, A. (2004): Referenzwerte für Schwermetalle in Oberböden: Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem BORIS. – *UBA Monogr.*, **170**, 155 S., CD-ROM, Wien.
- SCHWARZL, K. & KULNIG, H. (1971): Geochemische Prospektion in der Hinterradmer. – *Unveröff. Meldearb. Montan. Hochsch. Leoben*, 13 S., 2 Kt., Leoben.
- SEDAR, P. (2012): Untersuchungen zur Schwermetallbelastung des Nötschbachs im Bereich der Pb-Zn-Lagerstätte Bad Bleiberg, Kärnten, Österreich. – *Unveröff. Masterarb. Univ. Graz*, 130 S., Graz.
- SLAPANSKY, P., BELOCKY, R., FRÖSCHL, H., HRADECKÝ, P. & SPINDLER, P. (1999): Petrographie, Geochemie und geotektonische Einstufung des miozänen Vulkanismus im Steirischen Becken (Österreich). – *Abh. Geol. B.-A.*, **56/1**, 419–434, Wien.

- SMITH, D.B. & REIMANN, C. (2008): Low density geochemical mapping and the robustness of geochemical patterns. – *Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis*, (Arthur Darnley issue), **8**, 219–227, London.
- SORIANO-DISLA, J.M., JANIK, L., MCLAUGHLIN, M.J., FORRESTER, S., KIRBY, J.K., REIMANN, C. & THE EUROGEOSURVEYS GEMAS PROJECT TEAM (2013): The use of diffuse reflectance mid-infrared spectroscopy for the prediction of the concentration of chemical elements estimated by X-ray fluorescence in agricultural and grazing European soils. – *Applied Geochemistry*, **29**, 135–143, Amsterdam.
- SPIESS, C. & SPÖTL, C. (1989): Trace elements in rock salt of the Alpine Haselgebirge Formation (Late Permian), Northern Calcareous Alps (Austria). – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1989**, 625–638, Stuttgart.
- SPINDELBALKER, C., RISS, A., HACKL, J., HOJESKY, H., KASPEROWSKI, E., MÜLLEBNER, M., NOWAK, H. & PESCHECK, R. (1990): Montanwerke Brixlegg. Wirkungen auf die Umwelt. – *UBA Monogr.*, **25**, 415 S., Wien.
- SPINDLER, P. (1991): Beiträge zur Mineralogie und Geochemie der Werfener Basisbreccie des Steirischen Erzberges im Hinblick auf die Genese der vererzten Anteile. – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 128 S., Wien.
- SPINDLER, P. (1991): Neue Untersuchungen zur Mineralogie und Geochemie der Basisbreccie des Steirischen Erzberges, Österreich. – *Sitz.-Ber. Öst. Akad. Wiss., Math.-Naturwiss. Kl., Abt. I*, **199**, 1–26, Wien.
- SPÖTL, C. (1987): Sedimentologisch-fazielle und geochemische Untersuchungen am permoskythischen Salinar der Nördlichen Kalkalpen. – Unveröff. Diss. Univ. Innsbr., 130 S., Innsbruck.
- SPÖTL, C. (2003): Grundprinzipien der sedimentären Geochemie, Unterlagen zur Vorlesung und Übung. – 126 S., Inst. f. Geol. u. Paläont. Univ. Innsbr., Innsbruck.
- SPRENGER, W.L. (1996): Das Periadriatische Lineament südlich der Lienzer Dolomiten Strukturgeologie – Fernerkundung – Geochemie. – *Abh. Geol. B.-A.*, **52**, 220 S., Wien.
- STATTEGGER, K. (1979): Geochemie Windische Alp. Statistische Auswertung geochemischer Daten. – Unveröff. Ber. BBU, 5 S., Graz.
- STATTEGGER, K. (1986): Die Beziehungen zwischen Sediment und Hinterland: Mathematisch-statistische Modelle aus Schwermineraldaten rezenter fluviatiler und fossiler Sedimente. – *Jb. Geol. B.-A.*, **128**, 449–512, Wien.
- STEINHAUSER, G., ADLASSNIG, W., LENDL, T., PEROUTKA, M., WEIDINGER, M., LICHTSCHEIDL, I.K. & BICHLER, M. (2009): Metalloid contaminated microhabitats and their biodiversity at a former antimony mining site in Schlaining, Austria. – *Environmental Sciences*, **3**, 20–35, Wien.
- STUMPFL, E.F. & REIMANN, C. (1981): Geochemical setting of strata-bound stibnite mineralization in the Kreuzeck Mountains, Austria. – *Trans. Inst. Min. Metall., Sect. B*, **90/8**, 126–132, London.
- STUMPFL, E.F., SCHÄFFER, U. & BALLHAUS, C. (1986): Geologische, Petrographische und geochemische Untersuchungen an Kupferlagerstätten und ankeritischen Karbonatgesteinen im Gebiet der Kalwanger Teichen. – Unveröff. Ber. VALL, 43 S., Leoben.
- TARKIAN, M. & GARBE, C.D. (1988): Geochemistry and Genesis of sulfide ore deposits in the volcano-sedimentary sequences of the Western Grauwackenzone (Eastern Alps, Austria). – In: FRIEDRICH, G.J. & HERZIG, P.M. (Hrsg.): *Base metal sulfide deposits*. – *Spec. Publ. Soc. for Geol. appl. to Min. Depos.*, **5**, 149–168, Berlin.
- TARVAINEN, T., ALBANESE, S., BIRKE, M., PONAVIC, M., REIMANN, C. & THE GEMAS PROJECT TEAM (2013): Arsenic in agricultural and grazing land soils of Europe. – *Applied Geochemistry*, **28**, 2–10, Amsterdam.
- TEMPL, M., FILZMOSE, P. & REIMANN, C. (2006): Cluster Analysis applied to Regional Geochemical Data: Problems and Possibilities. – Unveröff. Ber. TU Wien, Proj. CS-2006-5, 40 S., Wien.
- THALHAMMER, O.A.R. (1987): *Geologie und Geochemie des Ostfeldes der Scheelitlagerstätte Felbertal, Land Salzburg*. – Unveröff. Ber. MUL, 83 S., Leoben.
- THALMANN, F. (1980): *Geochemische Sucharbeiten auf Wolfram und Molybdän im Gebiet der westlichen Grauwackenzone zwischen Wörgl und Inntal und Saalfelden/Zell am See mit Teilen der angrenzenden Quarzphyllitzone*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-C-002/79, T-C-002/79 und St-C-002f/79, 10 S., 509 S., Leoben.
- THALMANN, F. (1980): *Geowissenschaftliche Untersuchungen der Wolframvererzung im Gebiet des östlichen Tauernfensters*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-003/79, S-A-002/78, 118 S., Leoben.
- THALMANN, F. (1980): *Geochemische Sucharbeiten auf Wolfram und Molybdän im Gebiet der östlichen Grauwackenzone zwischen Liezen und Gloggnitz sowie in der angrenzenden Ennstaler Quarzphyllitzone*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-C-001, S-C-002/79, St-C-002/79, St-C-003/79, N-C-002/79, 7, 960 S., 9 Beil. Bd., Leoben.
- THALMANN, F. (1981): *Überregionale geochemische Untersuchungen im Gebiet der zentralen Kristallzonen der Ostalpen, insbesondere im Bereich des Tauern-Fensters und der westlichen Grauwackenzone als Basisstudie für eine systematische Prospektion auf Stahlveredler*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 42 S., Eisenerz.
- THALMANN, F. (1983): *Geochemische Sucharbeiten auf Wolfram und Molybdän im Gebiet der Ötztaler-, Stubai- und Zillertaler Alpen, der nördlichen Hohen Tauern, der Grauwackenzone zwischen Zell am See und Mandling bzw. Admont und Tragöß sowie südlich der Hohen Tauern Kärntens*. – *Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-C-004a/81, S-C-002a/80, S-C-001b/80, K-C-006/80, S-C-002/79 u. T-C-002/79*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 131 S., Eisenerz.
- THALMANN, F. (1991): *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*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Projekt K-U-002/90 (GZ.30.332/3-23/90), 6 S., Eisenerz.
- THALMANN, F. (1992): *Beurteilung der Verfügbarkeit von Lagerstätten bzw. Vorkommen von mineralischen Rohstoffen in Österreich mit Ausnahme von Pb-Zn-Rohstoffen und den mit diesen assoziierten Nebenelementen sowie von Steinen, Erden und Industriemineralen im Hinblick auf neue Anwendungsbereiche und neue Technologien*. – Unveröff. Teilber., *Projekt Rohstoffe für Zukunftstechnologien II*, Öst. Akad. Wiss., *Komm. f. Grundlagen d. Mineralrohstoff-Forschung*, 67 S., Wien–Eisenerz.
- THALMANN, F. & DIEBER, K. (1978): *Wolframindikation im Gebiet Schloßberg-Hochstein bei Lienz (Osttirol)*. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 4 S., 3 Kt., Eisenerz.
- THALMANN, F. & NEINAVAI, H. (1988): *Geochemische Prospektion im alpinen Gelände am Beispiel Wolfram/Geochemical prospecting under alpine conditions – the example of tungsten*. – In: FETTWEIS, G.B., WEBER, F. & WEISS, A. (Hrsg.): *Bergbau im Wandel: Tagungsbericht und Vorträge zum Thema „Der Bergbau im Strukturwandel der Anforderungen von Wirtschaft, Umwelt und Technik – Tendenzen von Forschung, Entwicklung und Betrieb“*. – ADEVA, Glückauf, 198–203, Graz.
- THALMANN, F. & NEINAVAI, H. (1990): *Geogen-technogene Beeinflussung der Elementverteilung in Böden*. – 2. Arbeitstagung *Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes*, Geotechnisches Institut, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal Wien, 9.–11. Mai 1990: *Kurzfassungen*, 52, Wien.

- THALMANN, F. & RONGE, W. (1987): Geowissenschaftliche und bergtechnische Untersuchung der Scheelit-Wolframitmineralisation im Gebiet Mallnock (Kärnten) 1981–1987. Abschlußbericht. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 10 S., Eisenerz.
- THALMANN, F., NEINAVAI, H., PFEFFER, W., RONGE, W. & SCHERMANN, O. (1983): Geochemische Sucharbeiten auf Wolfram und Molybdän im Gebiet der westlichen Ötztaler Alpen, Verwallgruppe, der kristallinen Zentralzone südlich und östlich der Mur bis zu den Kärntner Seenbecken bzw. dem Grazer Becken. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-C-002c/81, T-C-004b/81, St-C-001d/81, K-C-006b/81, 9 S., Eisenerz.
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G. (1989): Systematische geochemische Untersuchung des Bundesgebietes der Republik Österreich: Endbericht 1985. – Unveröff. Ber. Geol. B.-A., 37 S., Wien.
- TUFAR, W. (1965): Geochemische Untersuchungen an österreichischen Baryten. – TMPM, III.F., 9, 242–251, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1993): Umweltkontrolle und Bestandsaufnahmen: Umweltkontrollbericht des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie an den Nationalrat: Teil B., 175–607, UBA, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1998): Umweltsituation in Österreich. 5. Umweltkontrollbericht des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie an den Nationalrat. – 669 S., UBA, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Umweltsituation in Österreich. 6. Umweltkontrollbericht des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft an den Nationalrat. – 864 S., UBA, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Umweltsituation in Österreich: Siebenter Umweltkontrollbericht. – 470 S., UBA, Wien.
- UNGER, H.J. (1967): Geochemische Untersuchungen an Ganglagerstätten der Ostalpen I. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Ostalpen, 5, 46–55, Leoben.
- UNTERSWEIG, T., BERGHOLD, H., PROSKE, H. & SCHWENDT, A. (1997): EDV-gestützte Bewertung pedologischer und geologischer Aspekte. – Unveröff. Ber. Joanneum Research, Graz.
- UNTERWEISSACHER, T. (2013): Stable isotope geothermometry applied to selected vein type ore deposits of the Eastern Alps. – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, 124 S., Leoben.
- VELLMER, C. (1992): Stoffbestand und Petrogenese granulitischer und granitischer Gesteine in der südlichen Böhmisches Masse in Niederösterreich. – Unveröff. Diss. Univ. Göttingen, 112 S., Göttingen.
- VOEST-ALPINE (1980): Geowissenschaftliche Untersuchungen der Wolframvererzung im Gebiet des östlichen Tauernfensters. Abschlußbericht zu Proj. K-C-003/79 – Regionale Wolframprospektion im oberen Lieser-Pöllatal (Kärnten). – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, Abschlußbericht zu S-A-009/78, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-C-003/79, S-A-009/78, 118 S., Leoben.
- VOEST-ALPINE (1980): Wolframprospektion im Raum Villgraten-Lienz. Abschlußbericht, Projekt TA 3/1979. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 51 S., Wien.
- VOEST-ALPINE (1980): Erforschung des Naturraumpotentials des Raumes FRIESACH-OLSA / Kärnten mit besonderer Berücksichtigung seines Einflusses auf Raumordnung und Raumplanung – Kurzfassung. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 9 S., Leoben.
- VOEST-ALPINE (1980): Erforschung des Naturraumpotentials des Raumes FRIESACH-OLSA / Kärnten mit besonderer Berücksichtigung seines Einflusses auf Raumordnung und Raumplanung. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 110 S., 9 Kt., Leoben.
- VOEST-ALPINE (1980): Technisch-wissenschaftliche Untersuchung des Ultramafits von Kraubath/Steiermark. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE i. A. BMFHGI u. Amt d. Steiermärk. Landesreg., Rohstoffproj. St-A-012b/79, Geol. B.-A. / FA Rohstoffgeologie, 50 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1980): Basisstudie hinsichtlich Ermittlung explorationswürdiger Titan-, Tantal- und Niobindikationen sowie anderer Stahlveredler im österreichischen Bundesgebiet. Zwischenbericht zu Projekt OA 9. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 3 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1981): Bericht über die 1981 im Freischurfgebiet Untersulzbach-Brenntal durchgeführten Erschließungs- und Untersuchungsarbeiten. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 5 S., 2 Kt., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1981): Bericht über die 1981 im Freischurfgebiet Großarl durchgeführten Erschließungs- und Untersuchungsarbeiten. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 4 S., 1 Kt., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1981): Sucharbeit 1981. Geochemie Muralpenkristallin. Arbeitsbericht 1981. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 4 S., 1 Kt., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1983): Scheelit-Magnesit-Lagerstätte Tux-Lannersbach, Nordtirol, Österreich. Dokumentation und Bewertung der Lagerstätte hinsichtlich Wolframvererzung. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 40 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1983): Regionale Wolframprospektion und Exploration. Abschlußbericht über die Explorationsarbeiten im Bereich Spatgraben/Großarlal. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 6 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1983): Scheelitprospektion 1982 in Teilen Tirols, Salzburgs, Vorarlbergs, Kärntens und der Steiermark. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 54 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1983): Regionale Wolframprospektion und Exploration. Abschlußbericht über die Explorationsarbeiten im Bereich Hollersbach – Achselalm. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 14 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1984): Wolframprospektion 1984 in Teilen Nordtirols, Kärntens, Niederösterreichs und der Steiermark sowie petrographische Untersuchungen an neu aufgefundenen Wolframvererzungen im Arbeitsgebiet. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 76 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1984): Scheelitneufunde 1978–1983 in Österreich und ihre Zuordnung nach tektonischen Einheiten. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 35 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1984): Scheelitprospektion 1983 in Teilen Tirols, Salzburgs, Kärntens und der Steiermark. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 24 S., 18 Abb., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1985): Wolframvorkommen in Österreich. Versuch einer tektonischen Gliederung neu aufgefundener Vererzungen (Entwurf). – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 43 S., Eisenerz.
- VOEST-ALPINE (1985): Forschungsprojekt ‚Mobiler Kleinbergbau‘ Phase 1. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 173 S., Linz.
- VOEST-ALPINE (1987): Bericht über die Scheelitprospektion 1986 im nördlichen Teil der Kreuzeckgruppe/Kärnten. – Unveröff. Ber. VOEST-ALPINE, 5 S., 1 Kt., Eisenerz.
- VOGEL, W.R., KIENZL, K. & RISS, A. (1991): Die Treibacher Chemischen Werke. Wirkungen auf die Umwelt. – UBA-Monogr., 26, 119 S., Wien.
- VREČA, P. (1994): Statistische Auswertung der geochemischen Untersuchungen im Raum Eisenkappel-Mesiza. – Unveröff. Ber., 5 S., Ljubljana.

- WAGNER, S. (2009): Geochemische Charakteristik sulfidführender Mineralisationen der Böhmisches Masse mit besonderer Berücksichtigung der Isotopengeochemie. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 60 S., Wien.
- WALACH, G. & SCHÄFFER, G. (1981): Begleitende geochemische und geophysikalische Untersuchungen. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-E-001a/80, 45–46, Graz.
- WALLNER, P. (1980): Elementverteilung in den Gesteins- und Erzprofilen über die Kieslager bei Striden, Knappenstube und Kaser Wieserl, sowie in den Kieslagern bei Strieden und Striedenalmer Plaike. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 5 S., Leoben.
- WALLNER, P. (1980): Erläuterungen zur Prospektionskarte „Geochemische und geophysikalische Prospektion im Raume Strieden – Knappenstube/Kreuzeckgruppe“ und Diskussion der Ergebnisse. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/79, 9 S., Leoben.
- WALLNER, P. (1981): Montangeologische Bearbeitung des Kieslagers Politzberg, Lamnitzal – Kreuzeckgruppe. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/80, 19 S., 1 geol. Kt., Leoben.
- WALLNER, P. (1981): Integrierte Rohstoffsuche in der Kreuzeckgruppe (Kärnten/Österreich) mit besonderer Berücksichtigung der schichtgebundenen Kiesvererzungen im Raume Strieden – Knappenstube und Politzberg. – Unveröff. Diss. Montanuniv. Leoben, VII + 241 S., Leoben.
- WALLNER, P. (1982): Bericht über die montangeologische Bearbeitung der Sulfidvererzung Striedenalmer Plaike / Kreuzeckgruppe. – Unveröff. Ber. (Lagerst. Arch. Geol. B.-A.), 23 S., Leoben.
- WALLNER, P. & CERNY, I. (1982): Bericht über die montangeologische Bearbeitung der Sulfidvererzung Striedenalmer Plaike/Kreuzeckgruppe. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/81, 23 S., Bad Bleiberg–Leoben.
- WALLNER, P. & CERNY, I. (1983): Einsatz von Geophysik und Bodengeochemie bei der Suche nach komplex-sulfidischen Erzvorkommen in der Kreuzeck-Gruppe (Kärnten, Österreich). – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **3**, 91–98, Wien.
- WASSERTHAL, R. (1982): Mikroskopische und geochemische Untersuchungen an der schichtgebundenen Sulfidmineralisation bei Bärndorf (Steiermark, Österreich). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Hamburg, 133 S., Hamburg.
- WEBER, L. (1975): Geochemische und geophysikalische Prospektionsarbeiten über der Sideritlagerstätte von Gollrad (Steiermark). – Verh. Geol. B.-A., **1974**, 289–295, Wien.
- WEBER, L. (1979): Fortsetzung von Untersuchungen an Blei-Zinklagerstätten im Bereich von Stiwooll-Kher (Steiermark) unter Einbeziehung der Zinnerlagerstätte von Gratwein-Eisbach. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-002/78, 74 S., 7 Kt., Wien.
- WEBER, L. (1981): Geologisch-tektonischer Raum des Quecksilbervorkommens von Glattschach – Dellach/Drau sowie der Erzvorkommen des Lengholzgrabens (Kreuzeckgruppe/Kärnten). – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/80, 55 S., 18 S., 2 geol. Kt., Wien.
- WEBER, L. (1982): Untersuchung der Erzlagerstätten im Bereich von Stiwooll-Kher (Grazer Paläozoikum). – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **1**, 97–111, Wien.
- WEBER, L. (1986): Neue Lagerstättenuntersuchungen beim österreichischen Bergbau – Möglichkeiten und Aussichten. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **131**, 496–501, Wien.
- WEBER, L. (1988): Geologisch-lagerstättenkundliche Interpretation der Ergebnisse der Faktorenanalyse an Hand des Testgebietes Grazer Paläozoikum [Kooperation Geologische Bundesanstalt – Geological Survey of Kansas in Bezug auf Auswertungsmodelle geochemischer Daten]. – Unveröff. Ber., Projekt Ü-LG-021/87, 20 S., Wien.
- WEBER, L. (1989): Zur Geologie der Antimonvererzungen des Osttiroler Anteils der Kreuzeckgruppe. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **10**, 65–74, Wien.
- WEBER, L. (1990): Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Grazer Paläozoikums und ihr geologischer Rahmen. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **12**, 289 S., Wien.
- WEBER, L. (1995): Zur Minerogenie der Böhmisches Masse. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **140/4**, 206–213, Wien.
- WEBER, L. (Hrsg.) (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Erläuterungen zur metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe. – Arch. f. Lagerst. forsch. Geol. B.-A., **19**, 607 S., 2 Kt., Wien.
- WEBER, L. & CERNY, I. (1983): Geologie der osttiroler Antimonerzvorkommen der Kreuzeckgruppe. – Unveröff. Ber., Integrierte Rohstoffforschung in der Kreuzeckgruppe, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-002/81, 42 S., 1 geol. Kt., Bad Bleiberg.
- WEBER, L. & CERNY, I. (1983): Integrierte Rohstoffforschung in der Kreuzeckgruppe und anschließenden Bereichen der Gailtaler Alpen bzw. Reißbeckgruppe. Ergänzung d. Geol. Aufnahme: Endbericht 1981. – Unveröff. Ber. BBU, 42 S., 1 Kt., Wien.
- WEBER, L. & DAVIS, J.C. (1990): Multivariate statistical analysis of stream-sediment geochemistry in the Grazer Paläozoikum, Austria. – Mineralium Deposita, **25**, 213–220, Berlin.
- WEINZIERL, O. (1987): Geochemische Untersuchung der Molybdän-Führung in Böden des Alpen Raumes anhand des Vorkommens Bärnbad im Hollersbachtal / Salzburg. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montanuniv. Leoben, 86 S., Leoben.
- WEINZIERL, O. (1993): Bodengeochemische Untersuchung der Bindungsformen von Schwermetallen in geogenen und anthropogenen Belastungszonen. – Unveröff. Ber., Greenteam Consult, 78 S., Leoben.
- WEINZIERL, O. & FENNINGER, A. (1991): Bindungsformen von Schwermetallen in Stauraumsedimenten. – Unveröff. Ber., Bund/Bundesländer-Projekt St-U-017, 51 S., Abb.-Bd.: 51 S., Leoben.
- WEINZIERL, O. & WOLFBAUER, J. (1991): Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallbelastungen in alpinen Böden mittels Hauptkomponentenanalyse. – Mitt. Öst. Geol. Ges., **83** (Themenband Umweltgeologie), 283–296, Wien.
- WEINZIERL, O., WOLFBAUER, J. (1993): Bodengeochemische Untersuchung der Bildungsformen von Schwermetallen in geogenen und anthropogenen Belastungszonen. – Unveröff. Ber., FI f. Geo-Datenerfassung und -Systemanalyse MUL, Geol. B.-A., FA Rohstoffgeologie, 51 S., Leoben.
- WEISS, P., RISS, A. & TRIMBACHER, C. (1992): Schadstoffe im Raum Linz. – UBA Monogr., **20**, 276 S., Wien.
- WENINGER, H. (1966): Beiträge zur Geochemie der Graphitlagerstätten der Grauwackenzone mit besonderer Berücksichtigung der Vorkommen Kaisersberg und Sunk/Steiermark. – Diss. Univ. Wien, 114 S., Wien.
- WENZEL, W.E. (1990): Bodenbelastungen durch Fluor und Schwermetalle im Immissionsbereich der Aluminiumhütte Ranshofen und ihre Auswirkungen auf Bodenzustand und Bodenfunktionen. – Unveröff. Diss. BOKU Wien, 120 S., Wien.

- WENZEL, W. & HAUSBERGER, G. (1995): Bericht über geostatistische Untersuchungen zur kleinräumigen Variabilität von Bodenkennwerten. – Unveröff. Ber. BOKU Wien i. R. des Grundlagenprogramms ‚Bodengeochemie zur Bodenzustandserhebung im Gebiet des Köflacher-Voitsberger Beckens‘, 33 S., Wien.
- WENZEL, W., BRANDSTETTER, A., FARCAS, N., MENTLER, A., POLAK, M.A. & UNGER, E.M. (1991): Geochemische Untersuchungstechnik bei geochemischer Kartierung und Umweltgeochemie. Ergebnisbericht zur Phase 1: Methodische Voruntersuchungen. – Unveröff. Ber. BOKU Wien, 79 S., Wien.
- WIMMER, B. (2002): Einzugsgebietsbezogene Detailbearbeitung der Bachsedimentgeochemie Niederösterreichs. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, 39 S., Anh., Seibersdorf.
- WIMMER, B., AUGUSTIN-GYURITS, K., NEINAVAI, H. & PIRKL, H. (2001): Einzugsgebietsbezogene Detailbearbeitung der Bachsedimentgeochemie Niederösterreichs. – Unveröff. Ber. ARC Seibersdorf, Bund-Bundesländer-Projekt N-U-57/99, 39 S., Seibersdorf.
- WIMMER-FREY, I., SCHWAIGHOFER, B. & MÜLLER, H.W. (1993): Bundesweite Übersicht zum Forschungsstand der österreichischen Tonlagerstätten und Vorkommen mit regionaler Bedeutung. – Jahresendber. 1992 für das Proj. ÜLG 34/92, 6 S., Wien.
- WIMMER-FREY, I., GRITZ, W., APATA, E., KOLMER, H., SCHWAIGHOFER, B. & MÜLLER, H.W. (1994): Bundesweite Übersicht zum Forschungsstand der österreichischen Tonlagerstätten und von Tonvorkommen mit regionaler Bedeutung. – Unveröff. Ber. Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-034/93, Geol. B.-A. & BOKU Wien, 6 S., Wien.
- WIMMER-FREY, I., GRITZ, W., BESADA, A., KOLMER, H., LIPIARSKI, P., SCHWAIGHOFER, B. & MÜLLER, H.W. (1995): Bundesweite Übersicht zum Forschungsstand der österreichischen Tonlagerstätten und von Tonvorkommen mit regionaler Bedeutung. – Unveröff. Ber. Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-034/94, Geol. B.-A. & BOKU Wien, 6 S., Wien.
- WINIWARTER, W. & SCHNEIDER, M. (1995): Abschätzung der Schwermetallemissionen in Österreich. – UBA Rep., **108**, 61 S., Wien.
- WINKLER, G. (1995): Schwermetalluntersuchungen an Sedimenten. – In: UMWELTBUNDESAMT/WASSERWIRTSCHAFTS-KATASTER (Hrsg): Wassergüte in Österreich – Jahresber. 1994, 49–69, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- WOLFBAUER, J. (1984): Geochemische Untersuchungen in der Zentralzone zwischen Mur- und Ennstal einschließlich Schladminger Tauern. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-C-001a/91F, 95 S., Leoben.
- WOLFBAUER, J. (1984): Erhebung des Lagerstättenpotentials in Teilgebieten der Grauwackenzone. 2 Teile. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-C-001b/81F, Teil 1: 36 S., Teil 2: 2 Beil., 5 Tab., 2 Abb., Leoben.
- WOLFBAUER, J. (1987): Die Rolle von historischen mineralwirtschaftlichen Fakten in Bewertungssystemen für regionale Rohstoffpotentiale. – In: SCHABL, A., WEISS, A. & WOLFBAUER, J. (1987): Bibliographie aus der Lagerstättendokumentation Niedere Tauern. – Rohstoffforschung Leoben, 1–4, Leoben.
- WOLFBAUER, J. & BEERMANN, M. (2002): Bodenuntersuchungen im Raum Arnoldstein – Sanierungskonzept. Endbericht an das Amt der Steiermärkischen Landesregierung. – Unveröff. Ber. MUL, 55 S., Leoben.
- WOLFBAUER, J. & FLEISCHMANN, R. (1995): Sicherung und Sanierung der BBU Blei- und Zinkhütte Arnoldstein im Auftrag der BBU AG i. L. – Unveröff. Ber. MUL, 2 S., Leoben.
- WOLFBAUER, J. & VESELY, J. (1992): I. Entwicklung von Verfahren zur Optimierung von umweltgeochemischen Untersuchungen II. Evaluation of Regional Hydrochemistry Data – Final Report. – Unveröff. Ber. FGJ, 108 S., Leoben.
- WOLFBAUER, J. & WALACH, G. (1994): Umweltstudie Arnoldstein – Verdachtsflächenerkundung und -bewertung. – Kongressbericht der 2. Depotech Kongressmesse Leoben, 15.–17. November 1994, 83–96, Rotterdam.
- WÜNSCH, W. (1988): Das geochemische Verhalten von Elementen – unter besonderer Berücksichtigung der Seltenen Erden – bei der Metamorphose, der Anatexis und der Granitisation. Dargestellt anhand von Beispielen aus dem Bayerischen Wald und dem Waldviertel. – Unveröff. Diss. Ludwig-Maximilians-Univ. München, 147 S., München.
- WURZER, F., DUTTER, R., KÜRZL, H., PEER, H. & REIMANN, C. (1987): Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme des österreichischen Bundesgebietes. – Unveröff. Ber. FGJ, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-003a/83-84, Ü-LG-003b/83-84, 211 S., Leoben.
- ZAUNER, H. (2000): Untersuchungen zur Geologie und Geochemie moldanubischer Amphibolite im Kamptal bei Krumau (Niederösterreich). – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Salzburg, 119 S., Salzburg.
- ZAYDAN, A. (1982): Petrologie und Geochemie der Paragneise und Amphibolite der Bunten und Monotonen Serie des SW-Waldviertels im Raume zwischen Marbach an der Donau und östlich von Persenbeug (auf Blatt Melk). – Unveröff. Diss. Univ. Wien, 136 S., Wien.
- ZAYDAN, A. & SCHARBERT, H.G. (1983): Petrologie und Geochemie moldanubischer metamorpher Serien im Raume Persenbeug (südwestliches Waldviertel). – Jb. Geol. B.-A., **126/1**, 181–199, Wien.
- ZECHMEISTER, H. (1994): Biomonitoring der Schwermetalldepositionen mittels Moosen in Österreich. – UBA-Monogr., **42**, 145 S., Wien.
- ZECHMEISTER, H. & RISS, A. (2009): Schwermetalldepositionen in Österreich (Aufsammlung 2000). Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 2000). – UBA Rep., **200**, 192 S., Wien.
- ZECHMEISTER, H., HOHENWALLNER, D., HANUS-ILLNAR, A., RÖDER, I. & RISS, A. (2009): Schwermetalldepositionen in Österreich (Aufsammlung 2005). Biomonitoring mit Moosen (Aufsammlung 2005). – UBA Rep., **201**, 171 S., Wien.
- ZETHNER, G., HANUS-ILLNAR, A. & SATTELBERGER, R. (2007): Kupfer und Zink im Wirtschaftsdünger von Schweine- und Geflügelmastbetrieben. – UBA Rep., **73**, 33 S., Wien.
- ZEZULA, G. (1986): Rohstoffpotential westliche Gailtaler Alpen: Projektendbericht 1986. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-033c/84. – Ber. Geol. B.-A., **2**, 155 S., Wien.
- ZIMMER, E. (1976): Zur Geochemie des Fluors im Oberen Wettersteinkalk (alpine Mitteltrias) der Ostalpen. – Unveröff. Dipl.-Arb. FU Berlin, 78 S., Berlin.

Inhalt

Zusammenfassung	5
1 Einleitung (H. PIRKL & A. SCHEDL)	7
1.1 Vorgeschichte und Ziele des Programms	7
1.2 Programm im Umfeld angewandt-geowissenschaftlicher Forschung in Österreich	7
1.3 Programm im europäischen Umfeld	8
2 Programmstruktur (H. PIRKL)	10
2.1 Organisation, Teams, Finanzierung	10
2.2 Zeitlicher Ablauf	12
3 Arbeitsmethodik und Teilprojekte (H. PIRKL, P. KLEIN & G. HOBIGER)	15
3.1 Programmteil Böhmisches Masse und Zentralzone / Bachsedimente < 0,18 mm	15
3.2 Programmteil Bundesländerprojekte	22
4 Programmübergreifende Erfahrungen (H. PIRKL)	27
4.1 Interne und externe Kontrolle	27
4.2 Erfahrungen zur strukturellen und technischen Planung	34
5 Ergebnisdarstellung und -diskussion nach Einzelelementen (H. PIRKL, S. PFLEIDERER, A. SCHEDL, H. REITNER & H. NEINAVAIE)	36
6 Ergebnisdiskussion begleitender Mess- und Analytikdaten (H. PIRKL)	202
7 Begleitende Forschung sowie Auswertungs- und Interpretationsbeispiele	206
7.1 Abschätzung gesteinsgeochemischer Elementgehalte und Ableitung geogener Hintergrundwerte anhand von Bachsedimentgeochemie-Daten (S. PFLEIDERER)	206
7.2 Die Auswertung geochemischer Analysen von Bachsedimenten mit statistischen Methoden für Kompositionsdaten am Beispiel des Weinsberger Granits (H. REITNER, P. FILZMOSER, M. LINNER & H. PIRKL)	213
7.3 Erarbeitung von Stoffflussmodellen mit Hilfe geochemischer Daten unterschiedlicher Medien (H. PIRKL & P. LIPIARSKI)	218
7.4 Vergleiche regionaler Element-Verteilungsmuster an Böden und Bachsedimenten (H. PIRKL)	226
7.5 Erweiterung geochemischer Detailinformationen durch mineralogisch-mikro- chemische Untersuchungen (Mineralphasenanalytik) (A. SCHEDL & H. NEINAVAIE)	235
8 Extended Summary (S. PFLEIDERER)	243
9 Literaturverzeichnis	253
9.1 Verwendete Literatur	253
9.2 Gesamtbibliografie zur geochemischen Literatur und Forschung in Österreich (A. SCHEDL)	258

www.geologie.ac.at

ISSN 0253-097X

ISBN 978-3-85316-084-8