

BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG

**INTERPRETATION GEOCHEMISCHER DATEN
FÜR INTERDISZIPLINÄRE REGIONALE FRAGESTELLUNGEN
(038/91)**

**Berichte der Geologischen Bundesanstalt
Band 25, März 1992**

PIRKL, Herbert

BMWuF GZ. 30.377/2-23/91

Impressum:

Alle Rechte für In- und Ausland vorbehalten. Medieninhaber, Herausgeber und Verleger: Verlag der Geologischen Bundesanstalt, A-1031 Wien, Ruzsumofskygasse 23, Postfach 154

Für die Herstellung, Redaktion und Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Verlagsort: Wien.

Ziel der "Berichte der Geologischen Bundesanstalt" ist die Verbreitung wissenschaftlicher Ergebnisse durch die Geologische Bundesanstalt.

Nicht im Buchhandel erhältlich.

INHALT

Zusammenfassung

1. Einleitung	1
2. Verfügbarkeit und Zugang zu geochemischen Daten	6
3. Umsetzung und Interpretation - analysenspezifische Beispiele	8
3.1. Hydrogeochemie	8
3.1.1. Wässertypisierung	8
3.1.2. Fluorid	19
3.1.3. Nitrat	22
3.2. Bodengeochemie	28
3.2.1. Angebot und Verfügbarkeit von Schwermetallen	28
3.2.2. pH-Verteilungen in Unterböden	35
3.3. Bachsedimentgeochemie	38
3.3.1. Hinweise zum Aufbereitungsgrad	38
3.3.2. Verteilungen von Hauptelementen	42
3.3.3. Verteilungen von Spurenelementen	44
3.4. Gesteinsgeochemie	46
3.4.1. silikatische Serien	46
3.4.2. karbonatische Serien	51
4. Interpretationsmöglichkeiten und Verknüpfbarkeit - gebietsspezifische Beispiele	55
4.1. Westliche Grauwackenzone	55
4.2. Zentrales Waldviertel	68
4.3. Niederösterreichische Kalkalpen	76
4.4. Silvretta-Verwallkristallin	82
5. Datenmehrfachnutzung und Schnittstellen zwischen Fachbereichen	93
5.1. Ökosystemforschung	93
5.2. Bodenzustandsaufnahmen	94
5.3. Trinkwasserschutz/Gewässergüte	94
5.4. Naturraumpotentialkartierung	95
5.5. Geomedizin	96
6. Ausgewählte Literatur	97

Zusammenfassung

In zahlreichen Forschungsprojekten verschiedener geowissenschaftlicher Fachrichtungen wurden geochemische Daten erarbeitet. Daneben sind in den letzten Jahren einschlägige regionale oder überregionale Basisaufnahmen gestartet oder abgeschlossen worden, wie z.B. die Bachsedimentgeochemie des "Geochemischen Atlas der Republik Österreich", Bodenzustandsanalysen oder systematische hydrochemische Studien. In den meisten Fällen wurden und werden die Analysenergebnisse nur für das jeweilige Forschungsziel genutzt und ausgewertet. Allein schon der ökonomische Aufwand stellt die Forderung nach breiter gestreuter Umsetzung dieser Datenfülle.

Boden-, bachsediment- und hydrochemische Analysen können neben der jeweiligen Istzustandsdarstellung als Momentaufnahme innerhalb dynamischer Prozesse gesehen werden und sind somit als Indikatoren für vielfältige Fragestellungen auswertbar in

Bodenzustandsaufnahmen
Umweltmonitoring
Grundwasser- und Gewässerschutz
Naturraumpotentialkartierung
Ökosystemforschung
Geomedizin

Analysen- und gebietsspezifische Beispiele sollen auf die Breite der Anwendungsmöglichkeiten aufmerksam machen und versuchen, mit Hilfe unterschiedlicher Gesichtspunkte, unter denen an das Datenmaterial herangegangen werden kann, Brücken zwischen Fachbereichen zu bilden. Deshalb richtet sich der Bericht auch weniger an die jeweiligen Spezialisten, als vielmehr an diejenigen, die Umweltkartierungen praxisgerecht zu planen und für die Praxis umzusetzen haben.

1. EINLEITUNG

Naturraumpotentialerhebungen könnten und sollten umfassend verstanden zukünftig ein Instrument der interdisziplinär abgestimmten, zielgerichteten und flächenhaften Naturraumkartierung sein. Sie wären Basis gezielter, angewandter landschaftsökologischer, geoökologischer und ökosystemarer Spezialfragestellungen und aller Umweltverträglichkeitsprüfungen.

Die Empfehlungen der ÖROK zur Erstellung von Naturraumpotentialkarten in Österreich (vom 7.4.1988) verbleibt nicht allein auf der Ebene der reinen Ist-Zustandsdarstellung, sondern stellt die Forderung nach jeweiliger Bewertung der Kartierungsinhalte und Ergebnisse. -

+ Für die Bewertung wird dabei zwei Modelltypen Vorrang eingeräumt

Indikatorenmodelle und
prozeßorientierte Modelle

+ Eine sinnvolle Bewertung kann nur auf Grund definierter Planungsziele erfolgen; dabei soll jedoch differenziert nach den Kategorien

Leistungsfähigkeit
Empfindlichkeit
Belastung und Gefährdung

bewertet werden.

Wenn diese Empfehlungen ernstgenommen werden, ist zu hinterfragen, welchen Stellenwert dabei die angewandte geowissenschaftliche Forschung besitzt und was diese beizutragen hat.

Die Definition des Begriffes Geoökologie kann zur Beantwortung dieser Frage hinführen (HEINRICH & MERGT 1990) -

"...untersucht die Geoökologie das Gefüge der Umweltfaktoren, das zwischen den Gliedern des Systems, den Elementen (z.B. Mikroklima, Relief, Boden, Vegetation und Tierwelt) besteht. Der im Raum ablaufende Stoff-Energie-Umsatz und dessen Veränderungen stehen im Mittelpunkt des Interesses. Auswirkungen des Menschen bzw. der Gesellschaft auf den Naturraum (technogene Wirkungsbeziehungen) werden in die Untersuchungen einbezogen. Das Ökosystem kann strukturell und funktional untersucht werden. Die Strukturanalyse geht auf physikalische Zusammenhänge des Raumes ein."

Wie die Geoökologie gehen auch Landschaftsökologie und Ökosystemstudien vom Konzept der Erhebung und Darstellung biotisch-abiotisch übergreifender Faktoren und Prozesse aus bei prinzipiell offenem Stoff- und Energiefluß.

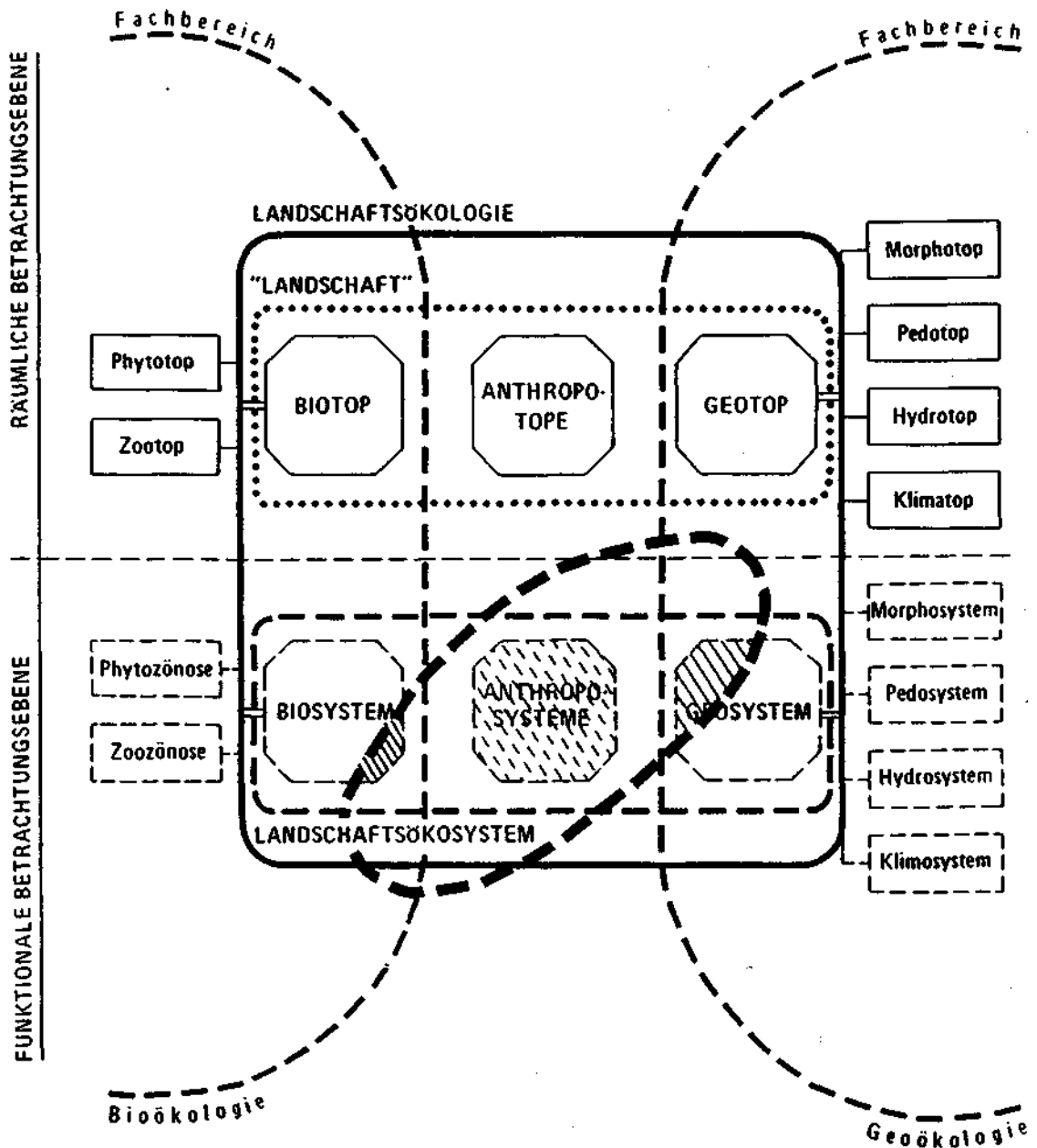


Abb.1: Landschaftsökologie, Landschaftsökosystem und Planungspraxis (aus LESER 1991)

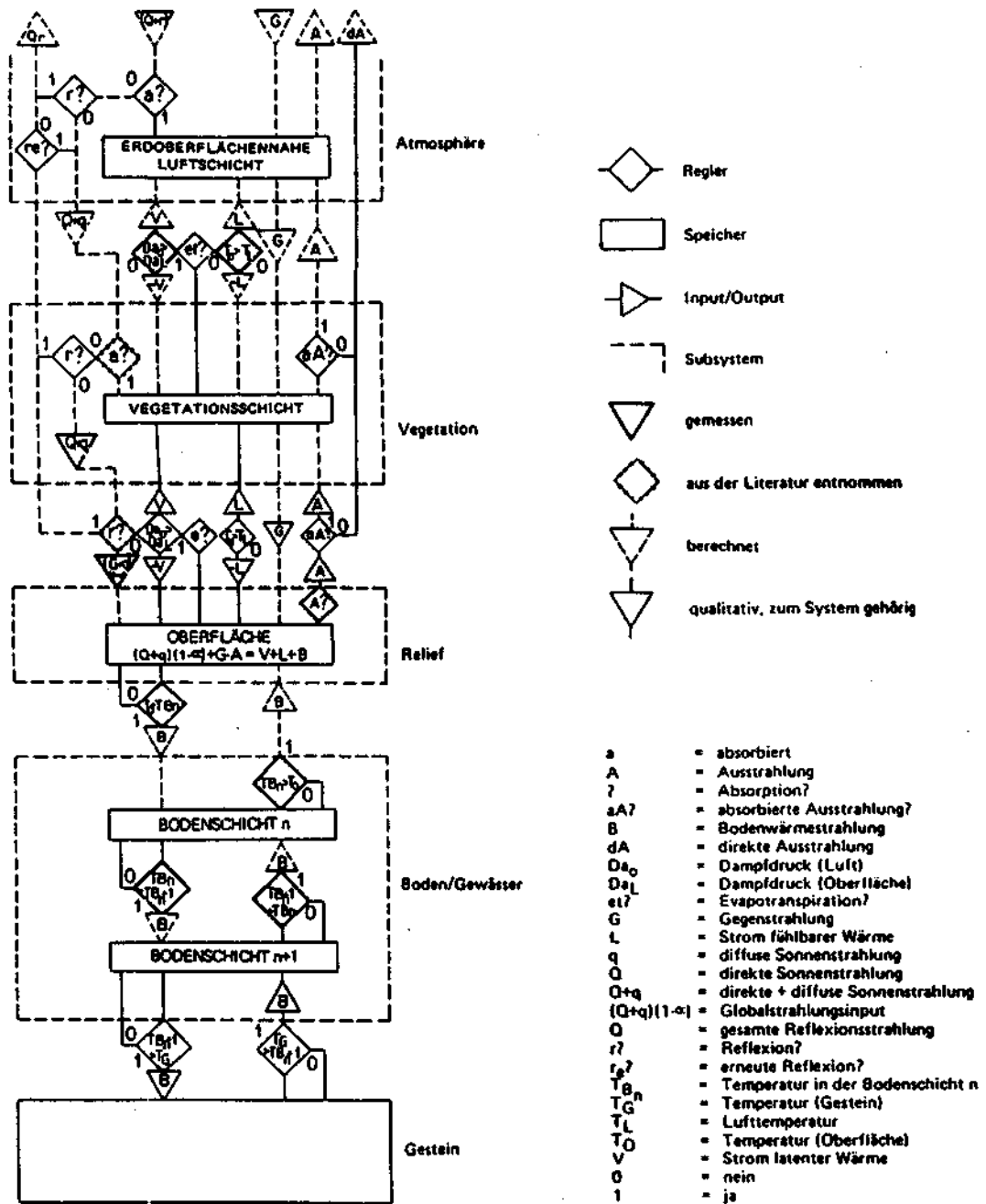


Abb.2: Geoökologische Kompartimentierung eines Landschaftsökosystems mit dem Schwerpunkt Klimafunktions- und Prozeßforschung (aus LESER 1991)

Die Abbildung 1 soll die Stellung und Einbindung der Geowissenschaften in diesem Konzept verdeutlichen. Trotz gesamtheitlicher Ansätze besteht freilich auch wieder die Tendenz, mit Hilfe der "Kompartimentierung" gewisse Abgrenzungen vorzunehmen; trotzdem bietet die Abbildung 2 die Möglichkeit, die prinzipiellen Zusammenhänge und der Denkweise solcher Forschungsansätze zu verdeutlichen. Symptomatisch ist jedoch in dieser Abbildung, daß das Gestein darin als Basis und nicht als eigenes Kompartiment (Subsystem) dargestellt wird mit möglichen spezifischen Implikationen auf den Wärme- und Wasserhaushalt und den Rückwirkungen auf das Relief. Wie in allen Rand-/Grenz-/Übergangsbereichen zwischen Ökosystemen findet im Grenzbereich biotisch/abiotisch - Verwitterungszone/Boden - je nach Lithologie und Mineralogie des Untergrundes einerseits und nach physikalisch-chemischen Umweltbedingungen andererseits ein intensiver Stoff- und Energieumsatz statt, dessen Implikationen sowohl den Bodenvegetationskomplex wie den Wasserkreislauf beeinflussen.

Diese längere Einführung soll überleiten zum eigentlichen Ziel des vorliegenden Projekts, bewußt zu machen, daß im Fachbereich der Geowissenschaften Informationen vorliegen oder laufend erarbeitet werden, die Hilfestellungen geben und/oder Lücken schließen können bei ökosystemaren Betrachtungen:

Die Interpretation und Verknüpfung geochemischer Daten aus Gesteins-, Boden, Flußsediment- und Wasseranalysen stellen Bausteine zum Verständnis von Stoffangebot und Stoffumsätzen dar, wenn sie im Zusammenhang der Systeme und deren Dynamik gesehen werden. Dann können diese auch als Indikatoren im Sinne obiger Bewertungsschritte eingesetzt werden. Beiträge zu Grenzwertdiskussionen und zum Problembereich "critical loads" ergeben sich dadurch automatisch.

Abgesehen von gesteinschemischen Charakterisierungen werden bei den übrigen geochemischen Untersuchungen keine statisch unveränderbaren Werte erhoben, sondern immer auch Aussagen und Hinweise auf die jeweilige Situation der Stoffdynamik exogener Kreisläufe.

Besonders aus diesen Gründen muß bei der Auswertung und Interpretation auch geochemischer Analysendaten immer die Frage nach den jeweiligen Rahmenbedingungen (und des Zeitpunkts) bei der Probenahme, der Probenaufbereitung und Analytik im Vordergrund stehen, um Fehlschlüsse zu vermeiden!

Insbesondere in den letzten Jahren hat sich eine Fülle von geochemischen Daten und Analyseergebnissen angehäuft, die freilich in den meisten Fällen nur für den jeweiligen enggesteckten Forschungsansatz genutzt und interpretiert wurden. Allein schon aus rein ökonomischen Gründen sinnvoller Mehrfachnutzung - über obige Überlegungen hinaus - besteht die Verpflichtung, teure Analyseergebnisse so breit wie nur möglich anzuwenden und zu verwerten!

Konkrete Tätigkeiten innerhalb des Projekts:

- * Sammlung und Sichtung der Unterlagen und Dateien
- * Auswahl von Beispielsmaterial
- * Aufbau einer EDV-gestützten Datei hydrochemischer Analysen an der FA.Hydrogeologie der Geol.Bundesanstalt
- * uni- und multivariate statistische Verarbeitung und Diskussion geochemischer Analysen verschiedenster Probemedien
- * Plausibilitätsprüfung und Interpretation statistischer Verrechnungsergebnisse
- * Erarbeitung von Umsetzungsbeispielen nach Probemedien und regionalen Schwerpunkten

Die Dokumentation erfolgt mit größerer Auflage in der Serie "Berichte der Geologischen Bundesanstalt", um einen größeren Benutzerkreis anzusprechen. In seiner Anlage wendet sich der Bericht weniger an die jeweiligen Fachspezialisten, sondern versucht, auch Nachbardisziplinen den Zugang zu geochemischem Datenmaterial zu erleichtern und dessen Interpretations- und Umsetzungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

Die Auswahl der Beispiele erfolgte in jedem Fall aus frei zugänglichem Material meist mit direktem Praxisbezug oder aktuellen Forschungsvorhaben.

2. VERFÜGBARKEIT UND ZUGANG ZU GEOCHEMISCHEN DATEN

+ Einzeldaten

In der geologisch-petrologisch-mineralogischen Spezialliteratur sind verbreitet gesteinschemische Daten dokumentiert, die jeweils in der Hauptsache für gesteinsgenetische Ableitungen gewonnen wurden. Bevorzugt sind das Gesteinstypen mit Indikatorfunktion für z.B. geotektonische, plattentektonische oder sedimentologische Fragestellungen. Dadurch sind Informationen über die weitverbreiteten "Normalgesteinstypen" unterrepräsentiert. Der Zugang ist schwierig, z.T. mit Hilfe der ausführlichen Beschlagwortung der Bibliothek der Geol.Bundesanstalt möglich.

+ Serienanalysen einzelner Gesteinstypen

Insbesondere für rohstoffwirtschaftliche Qualitätseinstufungen liegen z.T. Reihenanalysen einzelner Gesteinstypen und Schichtglieder vor (z.B. Kalke, Dolomite, Tone, u.a.). Wenn diese nicht speziell für Fragestellungen bestehender Betriebe angefertigt wurden, sind diese dokumentiert in Forschungsberichten oder Archivunterlagen bei der GBA.

+ Serienanalysen mit regionalem Charakter

Im Rahmen von Regionalprojekten und -studien mit Zielrichtung Rohstoffpotential, Naturraumpotential und Wasserhöflichkeit wurden und werden meist je nach Fragestellung geochemische Untersuchungen diverser Probedmedien eingesetzt; so z.B.

bodengeochemische Beprobung nach Raster oder Profilen
bachsedimentgeochemische Beprobungen geschlossener
Gebiete

hydrochemische Beprobungen an Quellen, Gerinnen und
Brunnen

gesteinsgeochemische und mineralogische Beprobungen
zur Abgrenzung der Ausgangslage und des geo-
chemischen Backgrounds

Die Analyseergebnisse sind praktisch immer vollständig nach Probepunktlagen, Umstände der Probenahme und nach Analysenverfahren in Berichtsform dokumentiert; z.T.bestehen auch entsprechende Datenbanken und Dateien bei den ausführenden Institutionen (wie z.B. GBA, BVFA-Arsenal-GI, VA-Eisenerz, FGJ-Graz, FGJ-Leoben). Die entsprechende Informationsschnittstellen, um an das Datenmaterial zu gelangen, sind die jeweils zuständigen Fachabteilungen der GBA und die Bibliothek der GBA.

+ Serienanalysen mit überregionalem Charakter

Basierend auf dem Probenmedium Bachsediment wurde die Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes gestartet und in einem ersten Schritt für die Bereiche Zentralzone der Ostalpen und Böhmisches Masse im "Geochemischen Atlas der Republik Österreich" zusammengefaßt und dokumentiert. Die Daten sind als Dateien bei der Geologischen Bundesanstalt, der BVFA-Arsenal-GI und der VA-Eisenerz erfaßt; bezogen werden können diese als Gesamt- oder Teilfiles auf Datenträger über die Geologische Bundesanstalt. Zusätzlich liegt eine Basisdokumentation der Einzelelemente pro Kartenblatt auf 1:50.000 lichtpausfähig vor.

Begleitende und darüberhinaus regional anschließende Flußsedimentuntersuchungen wurden an manchen Bereichen bereits abgeschlossen, stehen gerade in Durchführung oder sind im Planungsstadium.

So wurden flächendeckende Schwermetallerhebungen in oberösterreichischen Flüssen ausgeführt, sowie Flußsediment- und/oder Stauraumsedimentuntersuchungen an großen Flußläufen wie Donau, Drau und Mur gestartet.

Eine systematische Flußsedimentbeprobung mit Zielrichtung einer Umweltbestandsaufnahme ist in Niederösterreich im Gange.

Flächendeckende Bodenzustandsanalysen in meist weitmaschiger Rasterform liegen vor von Vorarlberg und Tirol, andere Bundesländer stehen in Bearbeitung. Die jeweiligen Daten sind entweder über Landesinstitutionen (Umweltschutzanstalten, Versuchsanstalten) oder die Bundesanstalt für Bodenkultur zu beziehen. Systematische Waldbodenzustandsaufnahmen in Rasterform laufen im Rahmen des Waldschadensbeobachtungssystems (Forstliche Bundesversuchsanstalt).

3. UMSETZUNG UND INTERPRETATION - ANALYSENSPEZIFISCHE BEISPIELE

3.1. Hydrogeochemie

3.1.1. Wässertypisierung

Typisierung über einfache Ionenverhältnisse

In der Praxis wird die Typisierung von Wässern angestrebt, um nähere Auskünfte zur Charakterisierung und Beurteilung der jeweiligen Einzugsgebiete zu bekommen und eventuell näheres über Ausdehnung des Einzugsgebiets, der Verweildauer und das chemisch-physikalische Milieu zu erfahren.

Die wichtigsten Parameter von natürlichen Grund- und Quellwässern - Mineralisierungsgrad, pH-Wert, Ionenkombination - sind Resultierende aus

- Input (Niederschlag, qualitativ)
- Prozesse im Boden
- Prozesse in der Verwitterungszone
- Prozesse während Gesteinskontakt.

Über die Eingrenzung der Einflußkomponente des grundwasserleitenden Speichergesteins wird nun versucht, "Normalfälle" zu definieren. Aus Abweichungen wäre dann auf Einflüsse anderer Komponenten wie stärkere Lösungsumsätze in Boden und Verwitterungszone, Austauschvorgänge oder Mischwässer zu schließen.

Nicht immer besteht die Möglichkeit, hydrochemische Vollanalysen ausführen zu lassen oder auf solche zurückzugreifen, dann ist es durchaus denkbar, sich in einem ersten Schritt auch an Verhältnissen einzelner Hauptionen zu orientieren, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Wenn eine erste Gruppierung über hydrochemische Vollanalysen möglich war, genügen oft sogar nur Verhältnisse zwischen zwei Ionen, um hydrogeologische Kartierungen wirkungsvoll zu unterstützen.

Zum Beispiel - es bestünde die Aufgabe die Beeinflußung durch Gipswässer in kalkalpinen Bereichen mittels Quellkartierungen abzugrenzen:

Die jeweiligen Extreme - reine Kalkwässer/reine Gipswässer unterscheiden sich primär über die meist extrem höhere Mineralisierung (Leitfähigkeit) der Gipswässer. Falls die Wässer aus den Kalkserien eine höhere Verweildauer besitzen, können sich jedoch im Bereich von Mischwässern die Leitfähigkeiten (Mineralisierungsgrade) stark annähern. Dies wäre dann kein ausreichendes Unterscheidungskriterium. Da bietet die

Feststellung des Hauptanionenverhältnisses HCO_3/SO_4 eine Hilfestellung (im Gelände zu erheben mittels einfacher colorimetrischer Methoden). In reinen Karbonateinzugsgebieten kann dann das Verhältnis bei etwa 10:1 liegen und wird schleifend von diesem Wert bis 1:5 bei Gipswasservormacht reichen.

Aus Analysen, die in Berichten an der Geologischen Bundesanstalt dokumentiert sind, wurden die folgenden Beispiele ausgewählt.

Die Ionenverteilungen aus karbonatreichen Serien der Tauernschieferhülle (Abb.3) und triadischen Schichtgliedern der Nördlichen Kalkalpen (Abb.4) sind sich sehr ähnlich bei jeweils negativer Korrelation der Hauptkationen und Hauptanionen, d.h. Ca und Mg einerseits, sowie HCO_3 und SO_4 andererseits können einander ersetzen. Die Variation scheint hauptsächlich abhängig von der Verweildauer; die Hauptprägung der Ionenkombinationen und des Mineralisierungsgrades erfolgt im Gesteinskontakt. Die Variabilität der Ca/Mg-Verhältnisse bei den Proben aus den Gesäusebergen wird kontrolliert über dolomitische Schichtglieder in den Einzugsgebieten, die Umkehrung des HCO_3/SO_4 -Verhältnisses in einer Probe bedingt Gips im Einzugsgebiet.

Die Wässer aus Hausruckschotter (Abb.5) lassen z.T. noch ähnliche Trends erkennen, freilich stellen sich mehrere Verteilungsgruppen ein. Dies dürfte ein Hinweis sein auf wahrscheinlich stärkeren Einfluß der Bodenzone in den Kleineinzugsgebieten einerseits und eventuell auch auf lithologische Unterschiede im Sedimentaufbau (wechselnder Karbonatanteil) andererseits.

Gänzlich andere Trends beherrschen die Ionenverteilungen in Wässern aus Phylliten und Sandsteinen der Westlichen Grauwackenzone (Abb.6) und aus Kristallin der Böhmisches Masse auf Blatt Mautern (Abb.7) - Hinweise auf höhere Gesteinsvielfalt und Inhomogenität der Probepunktverteilung im Fall Blatt Mautern, sowie stärkere Prägung der Ionenkombinationen in Boden und Verwitterungszone im Fall Glemmtal. Die höhere Streuung bei den Hauptionen läßt auch schließen auf höhere Anteile auch der anderen Ionen (wie Na, K, NO_3 , Cl) und damit auf Prozesse, die von der reinen Prägung durch die Gesteinslithologie abgekoppelt ablaufen können.

Beim Vorhandensein hydrochemischer Vollanalysen können mittels ionenäquivalenter Verrechnung und Prozentgewichtung der jeweiligen Kationen und Anionen (mval%) auch Wässer unterschiedlicher Mineralisierungsgrade miteinander verglichen und gruppiert werden. Die Charakterisierung erfolgt dabei über die 20%-Gehaltsschranke. VOIGT 1990 hat z.B. diese Typen gebietsspezifisch zusammengestellt und gewichtet, und erhält damit schwerpunktmäßig wieder "Richttypen" (gebiets- und lithologieabhängig). Zusätzliche Einflüsse auf den Chemismus wie Tiefenhorizontierung, Zutritte von Mineralwässern oder anthropogene Faktoren grenzen sich dabei deutlich ab.

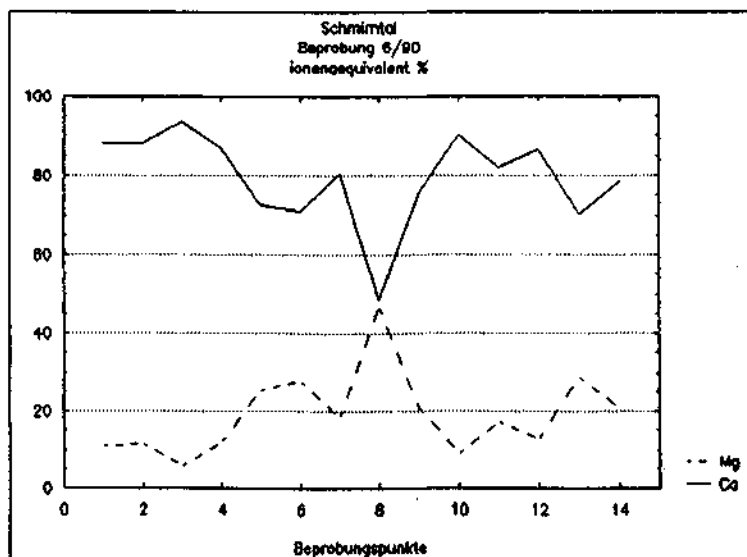
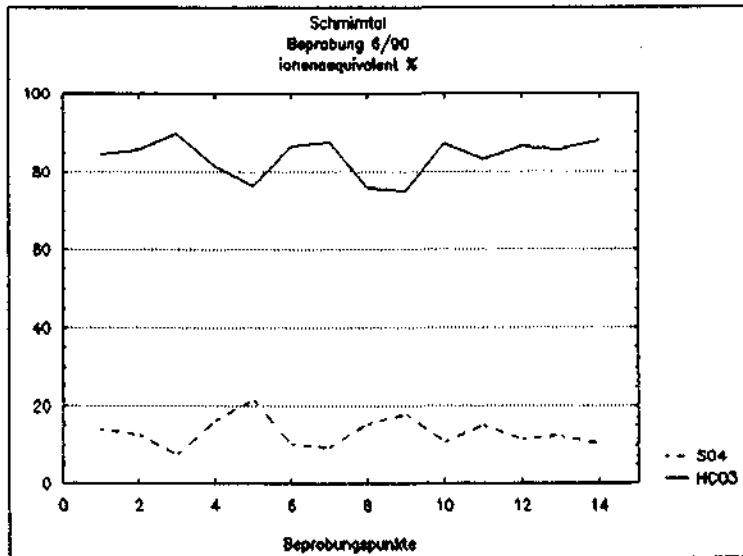
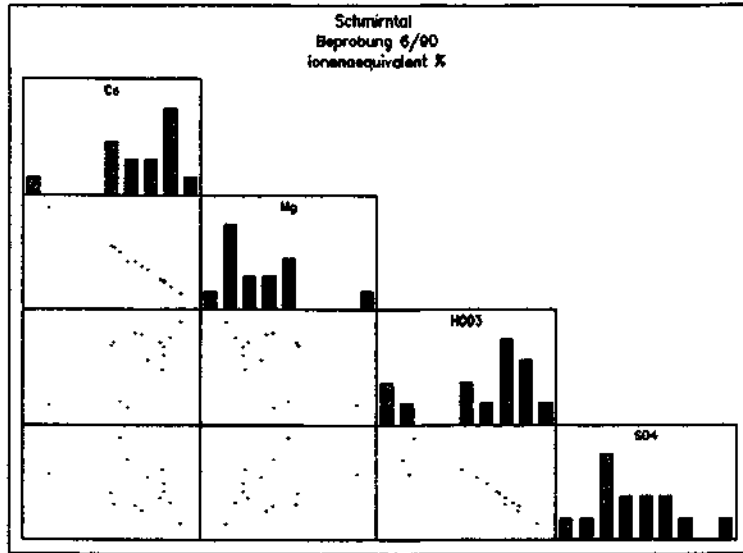


Abb.3: Hauptionenverhältnisse in Wässern aus Kalkglimmerschiefer/äußeres Schmirmtal (Brenner)

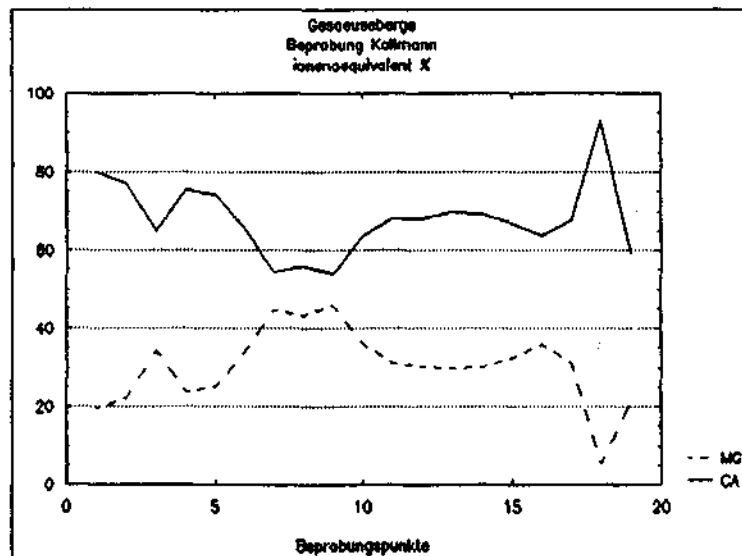
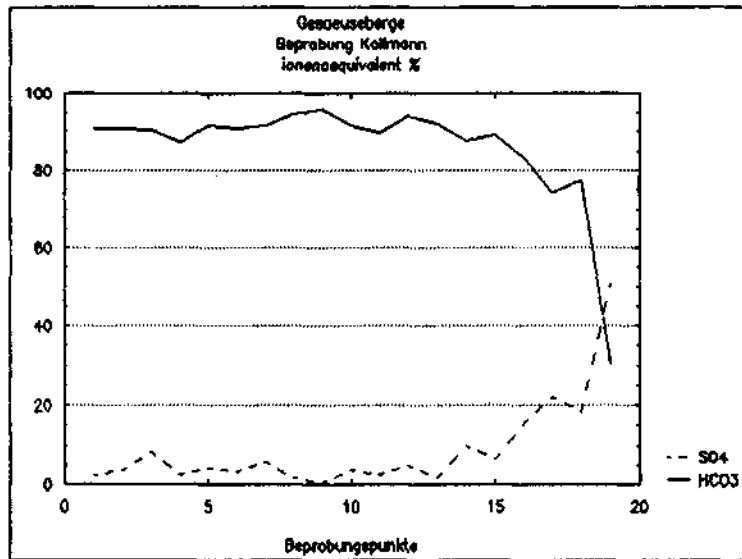
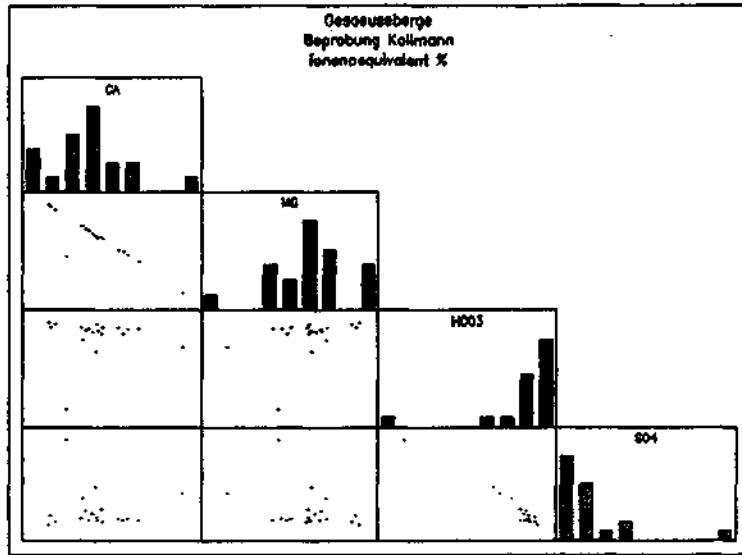


Abb.4: Hauptionenverhältnisse in Wässern aus kalkalpinen Schichtgliedern/Gesäuseberge

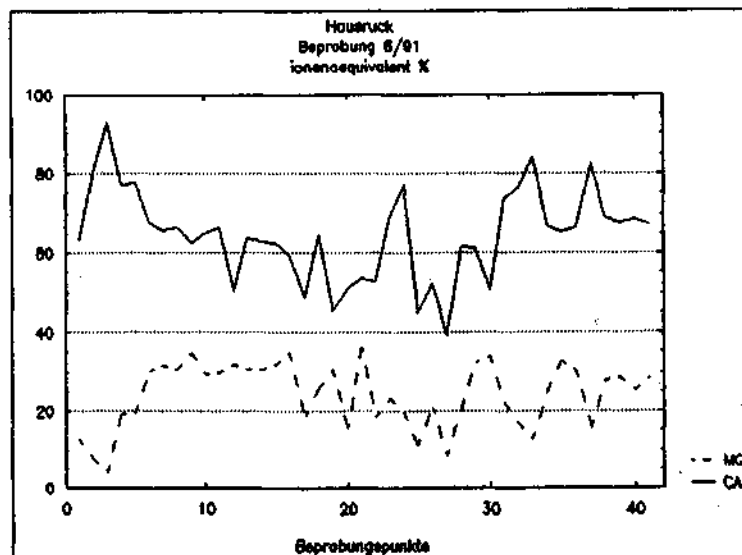
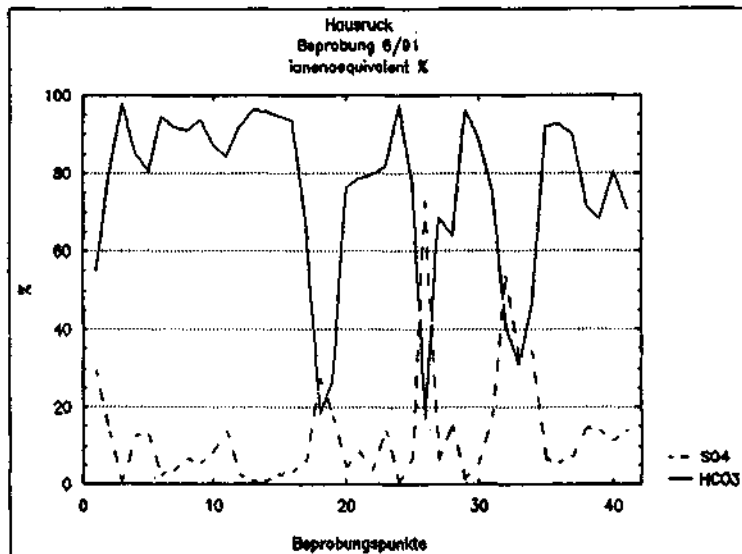
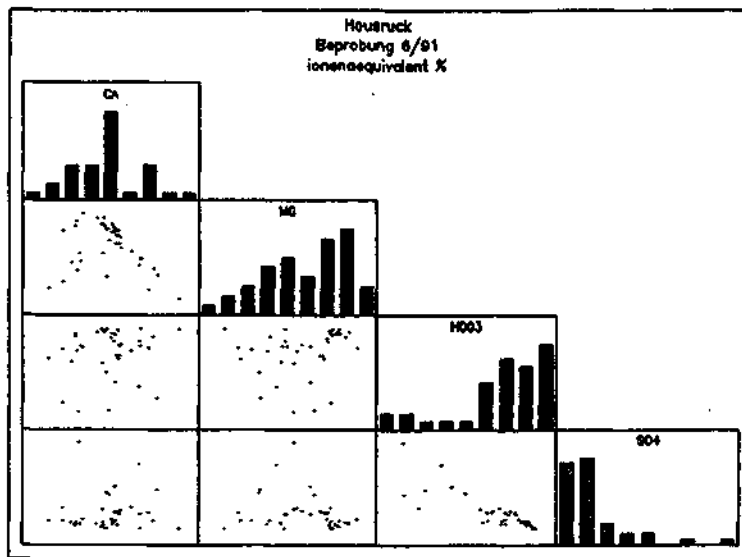


Abb.5: Hauptionenverhältnisse in Wässern aus jungtertiären Schotter/Hausruck

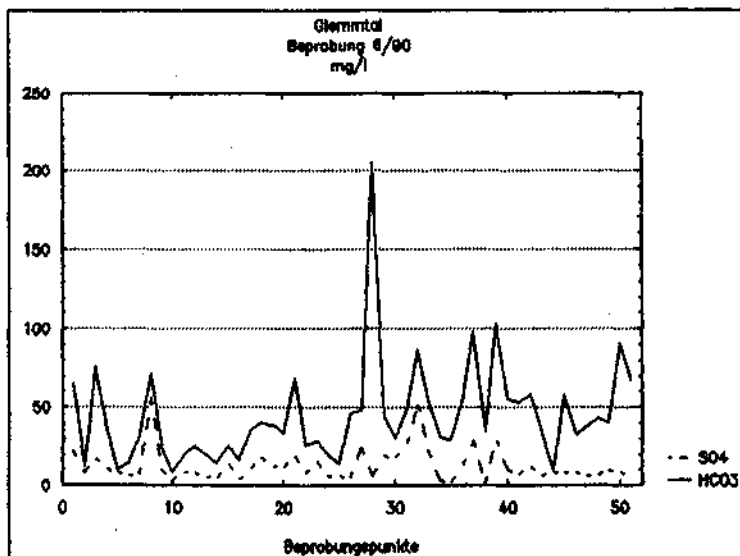
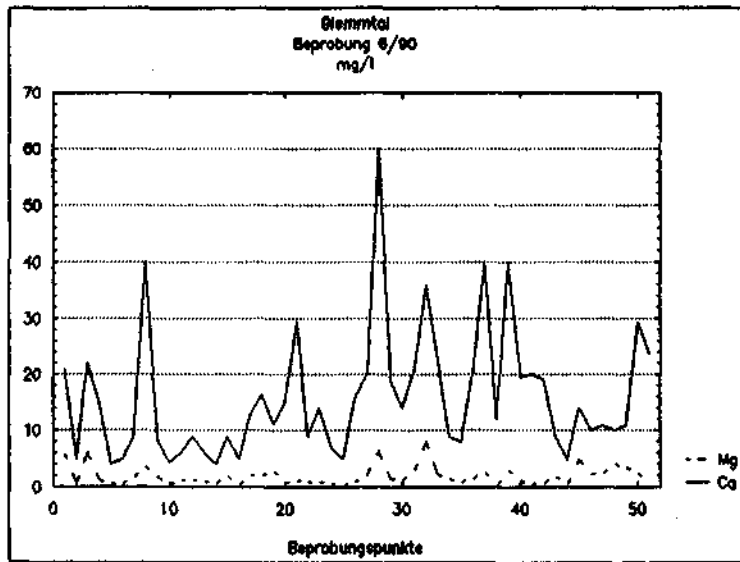
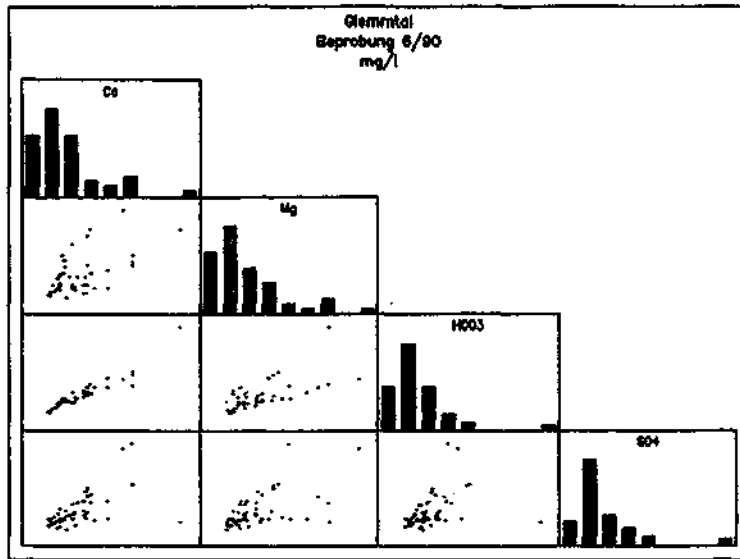


Abb.6: Hauptionenverhältnisse in Wässern aus Phylliten und Sandsteinen/Westliche Grauwackenzone, Glemmtal

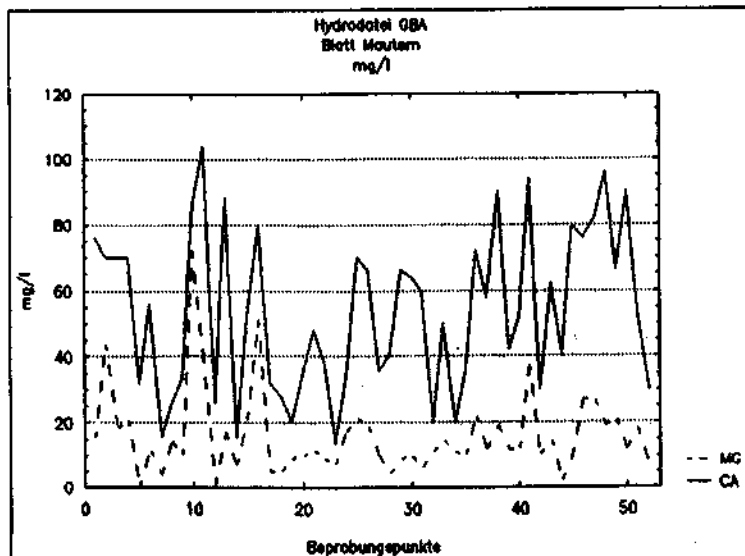
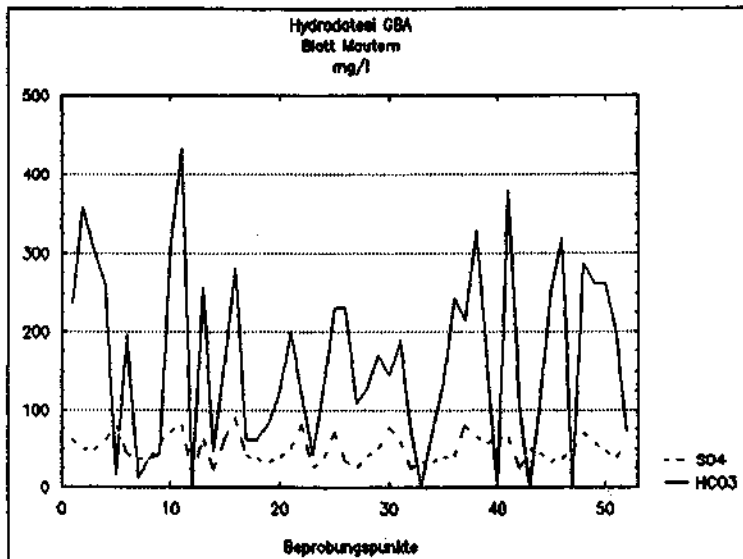
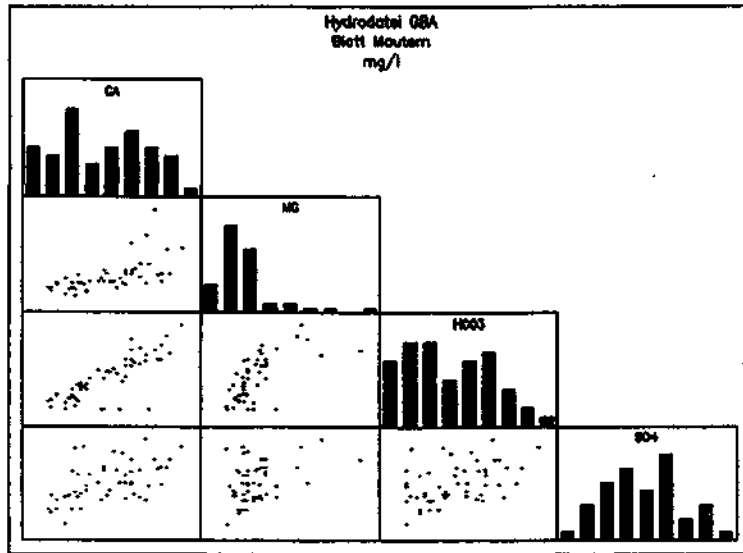


Abb.7: Hauptionenverhältnisse in Wässern aus verschiedenen kristallinen Gesteinen/Böhmische Masse Blatt Mautern

Typisierung über Clusteranalysen

Clusteranalysen sind statistische Verfahren zur Gruppenbildung, deren Anwendung auf das vorliegende Material eventuell Typisierungen und Gruppierungen verfeinern helfen könnte. Diskutiert werden im Folgenden nur Clusterdarstellungen der Variablen (= Ionen).

Da es eine große Anzahl von Rechenmethoden und einzusetzende Algorithmen gibt, ist eine für diesen Fall optimierte Vorgangsweise zu überlegen (BACHHAUS et al. 1989).

Zwei grundlegende Problemkreise sind dabei zu beachten

- die Wahl des Proximitätsmaßes
- die Wahl des Fusionierungsalgorithmus.

Bei Zugrundelegung prozentgewichteter, ionenäquivalent verechneter Analysen (um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten) sind die einzelnen Variablen auf standardisierte - niveaunabhängige - vergleichbare Skalen gebracht worden. Somit wäre die Voraussetzung erfüllt, Distanzmaße der Minkowski-Metrik verwenden zu dürfen. Deshalb wird im weiteren einheitlich die Euklidische Distanz als Proximitätsmaß verwendet. Bei der Auswahl des Fusionsalgorithmus kommen nur hierarchisch-agglomerative Verfahren in Frage, wobei jedoch eine weite Spanne unterschiedlich wirksamer Algorithmen zur Verfügung steht. Um die entsprechenden jeweiligen Wirkungen studieren zu können, werden zwei stark unterschiedliche Methoden am selben Ausgangsmaterial gegenübergestellt -

- a. Single Linkage-Verfahren
- b. Ward-Verfahren

Das Single Linkage Verfahren ist bestens geeignet, Ausreißer in einer Objektmenge zu erkennen, es bildet jedoch eher viele kleine Gruppen. Das Ward Verfahren gruppiert demgegenüber eher ausgewogen, wenn keine Ausreißer zu erwarten sind, und faßt stärker zu wenigen Gruppen zusammen.

Ausgewählt aus einer größeren Reihe von Rechenbeispielen werden im Folgenden einige vorgestellt, wobei jeweils der obere Cluster-Baum mit Single Linkage, der untere mit dem Ward Verfahren verrechnet wurde.

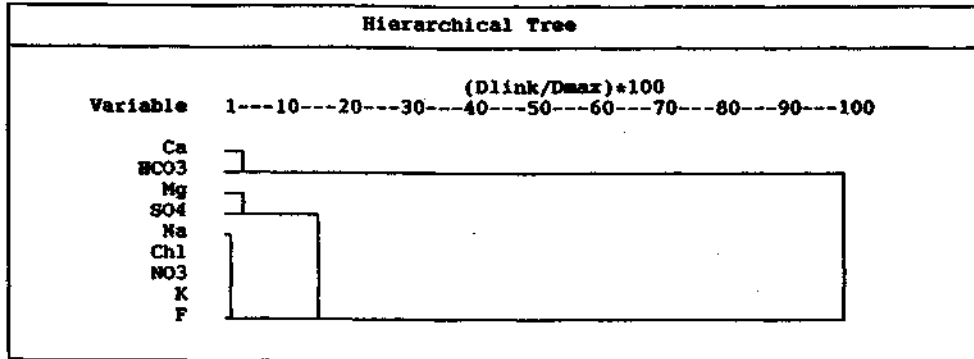
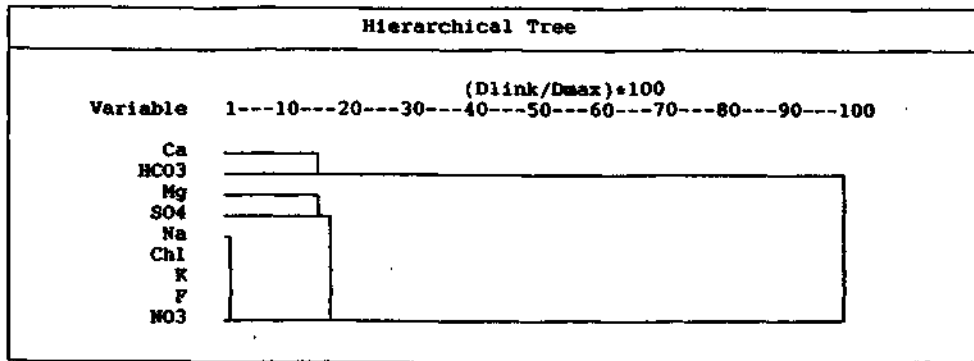


Abb.8: Clusteranalysen der Ionenkombination in Wässern aus Kalkglimmerschiefer/Außeres Schmirntal

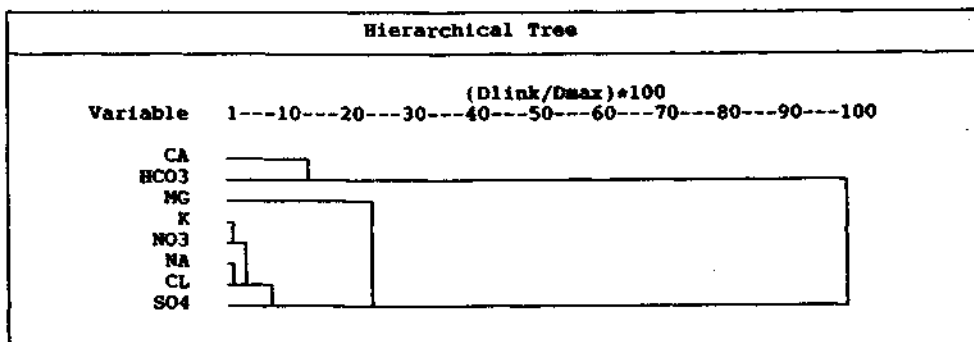
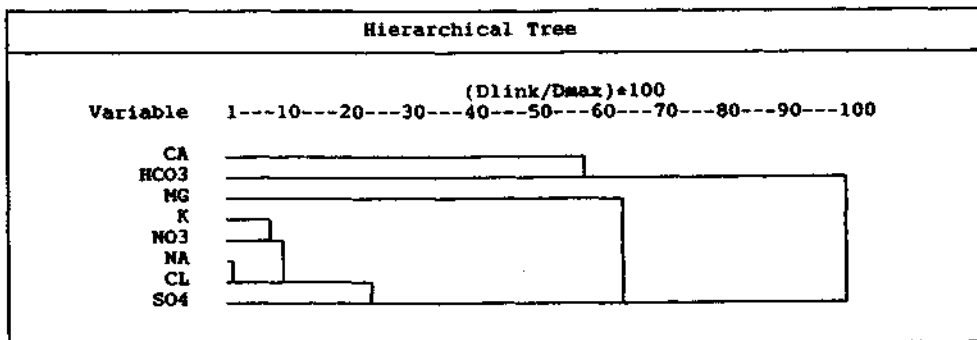


Abb.9: Clusteranalyse der Ionenkombination in Wässern aus kalkalpinen Serien/Gesäuseberge

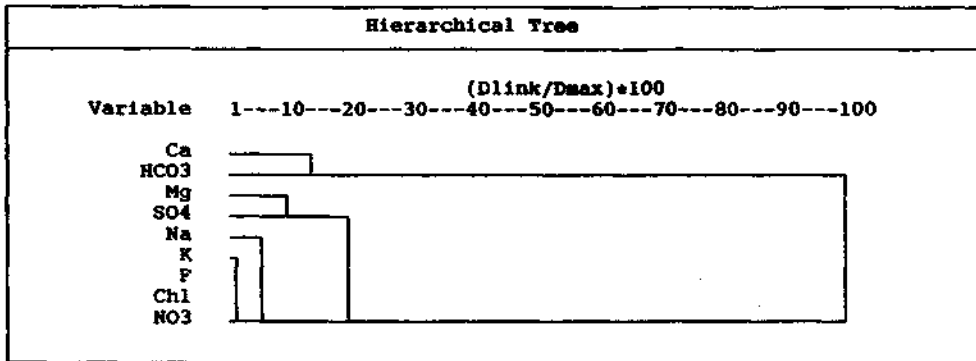
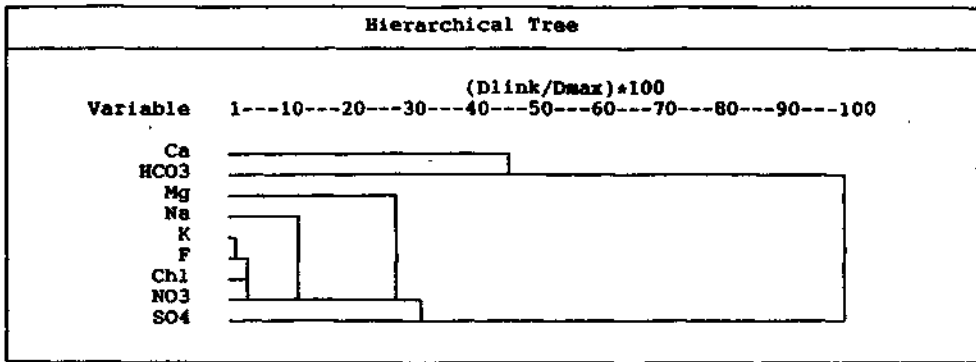


Abb.10: Clusteranalyse der Ionenkombination in Wässern aus Phylliten und Sandsteinen/Westliche Grauwackenzone Beprobung 9/89

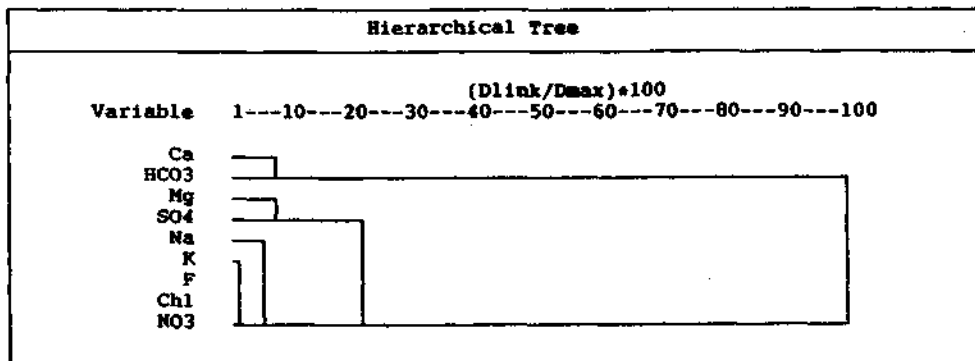
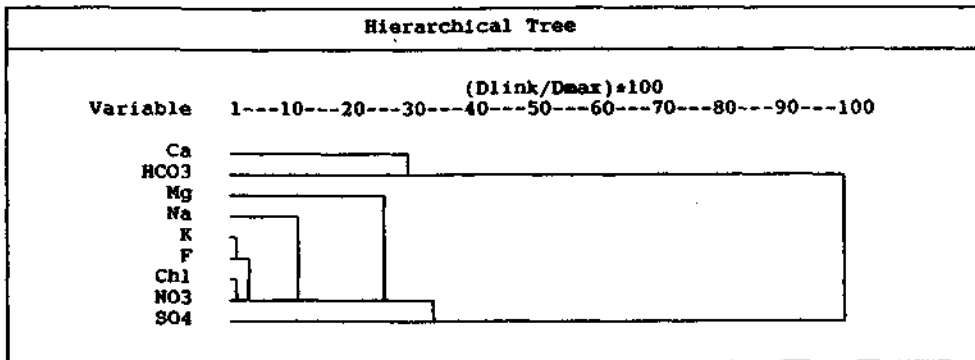


Abb.11: Clusteranalyse der Ionenkombination in Wässern aus Phylliten und Sandsteinen/Westliche Grauwackenzone Beprobung 6/90

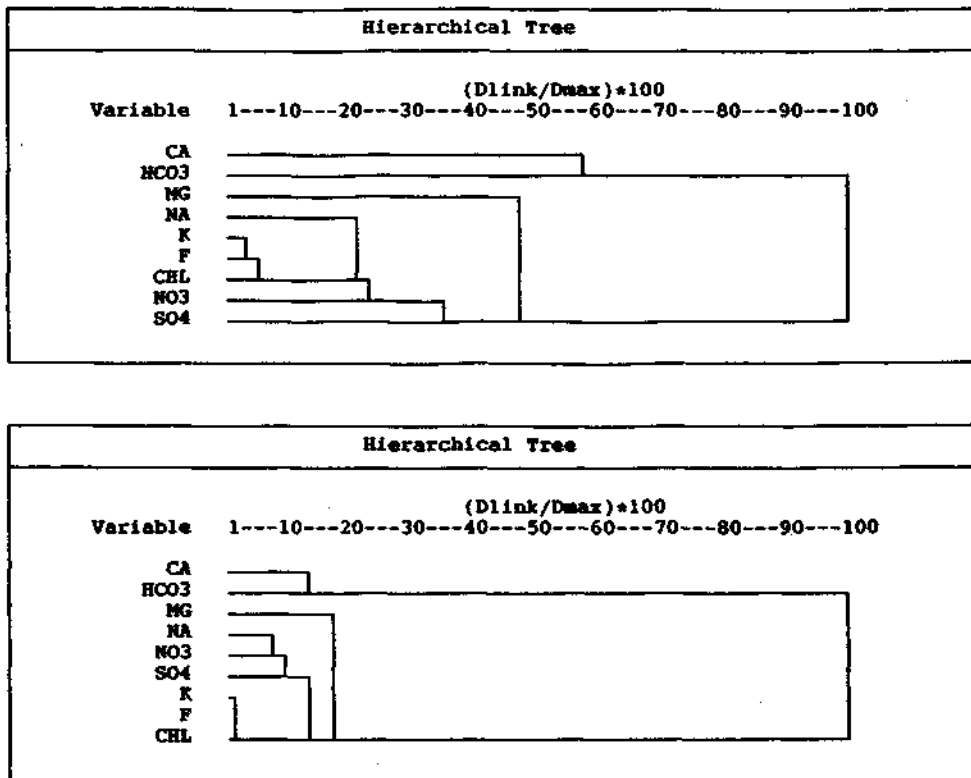


Abb.12: Clusteranalyse der Ionenkombination in Wässern aus Hausruckschotter

Diese Beispielsauswertungen zeigen relativ anschaulich die Wirkung der unterschiedlichen Rechenansätze, sowie die Möglichkeit Zusammenhänge und Gruppenbildungen zu visualisieren.

* Die äußerst homogene Ausgangslage bei den Wasseranalysen aus Kalkglimmerschieferarealen führt bei beiden Verknüpfungsalgorithmen praktisch zu gleicher Gruppenbildung (Abb.8).

* In Abb.9 - den Wässern aus kalkalpinen Serien - wird der wechselnde, zum Teil sehr starke Einfluß von Dolomit in den Einzugsgebieten durch die Eigenstellung von Mg deutlich. Die prinzipielle Gruppenbildung geschieht durch beide Algorithmen gleich.

* Die Abbildungen 10 und 11 beziehen sich auf etwa gleiche Probepunkt Kollektive im Glemmtal, die in zwei verschiedenen Jahren beprobt wurden. Bei Verrechnung mit jeweils gleichem Algorithmus ist zwischen den Jahren kein Unterschied feststellbar, jedoch unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Rechenansätze innerhalb einer Probenserie sehr stark - ein Hinweis auf die Inhomogenität der Analysenergebnisse trotz sehr ähnlicher geologisch-lithologischer Bedingungen.

* Am Beispiel der Clusterung der Ionenverhältnisse in Wässern aus Hausruckschotter (Abb.12) ist dieses Phänomen ebenfalls zu beobachten. Auch hier wurde in der Auswertung eine hohe hydrochemische Varianz bei prinzipiell gleicher hydrogeologischer Ausgangslage festgestellt.

3.1.2. Fluorid

Im Zuge von Rohstoffforschungsprojekten wurden durch die Geologische Bundesanstalt in verschiedenen Gebieten Österreichs Wasserproben gezogen und zum Teil systematisch auf ihren Fluorgehalt analysiert. Bei diesen Arbeiten reichte die Zielspanne von direkter Prospektion auf Flußspatvorkommen, über indirekte Prospektion auf Erzvorkommen, Eingrenzung von Mineralwässern und Rückschlüsse auf allgemeine Gesteinsbackgroundwerte. In diesen Projektberichten aus den letzten fünfzehn Jahren wurden Fluoridgehalte von über 3000 Probestellen aus verschiedenen geologischen Einheiten (Böhmische Masse, Nördliche Kalkalpen, Grauwackenzone, Tauernschieferhülle, Altkristallin, Lienzener Dolomiten, Karnische Alpen) als Basisdaten unterschiedlichster Auswertungen dokumentiert.

Darüberhinaus akkumulierte sich das Wissen über Fluoridgehalt-Verteilungen in Wässern zusätzlich infolge systematischer hydrochemischer Vollanalytik im Rahmen von Wasserhöffigkeitsuntersuchungen insbesondere in Karstgebieten.

Besonders gewichtig erscheint die spezifische Auswertung und Interpretation dieses Materials in Hinblick auf die geomedizinische Indikation von Mangel- und/oder Überangebot des natürlichen Fluorids im Trinkwasser im österreichischen Bundesgebiet.

Basierend auf diesem Wissen wäre es relativ einfach, die bisher als Basis medizinischer Aussagen benutzten Unterlagen neu zu untermauern und zu spezifizieren!

In Österreich gilt als Grenzwert in Trinkwasser 1.5 mg/l (= 1500ppb) Fluorid, wobei dieser Wert gleich ist mit den Richtwerten der WHO.

F-haltige Schadstoffeinträge über die natürlich-lithogenen Gehalte hinaus sind zu erwarten in Flüssen unterhalb von Erzaufbereitungsanlagen, sowie in der Luft aus Hüttenbetrieben (insbesonder Aluminium) und der Zementerzeugung. Die entsprechende Kenntnis der natürlichen Backgroundverteilungen ermöglicht die Abtrennung und Eingrenzung technogener Immissionen.

Bei geologisch-hydrochemischen Fragestellungen dient der Fluoridgehalt als Indikator für:

- Definition der Gesteinsfazies
Konnex mit vulkanischer Beeinflußung des Gesteinstyps oder Schichtglieds
- Hinweise für tektonische Fragestellungen
z.B. Konnex zwischen Fluorit-Führung und bestimmten Kluft- oder Störungsrichtungen
- Hinweise für Erzprospektion
z.B. Konnex mit Pb/Zn-Vererzungen

- Beitrag zur Typisierung von Wässern
 z.B. Hinweis auf Mineralwasserzutritte in
 geringer mineralisierte Grundwässer

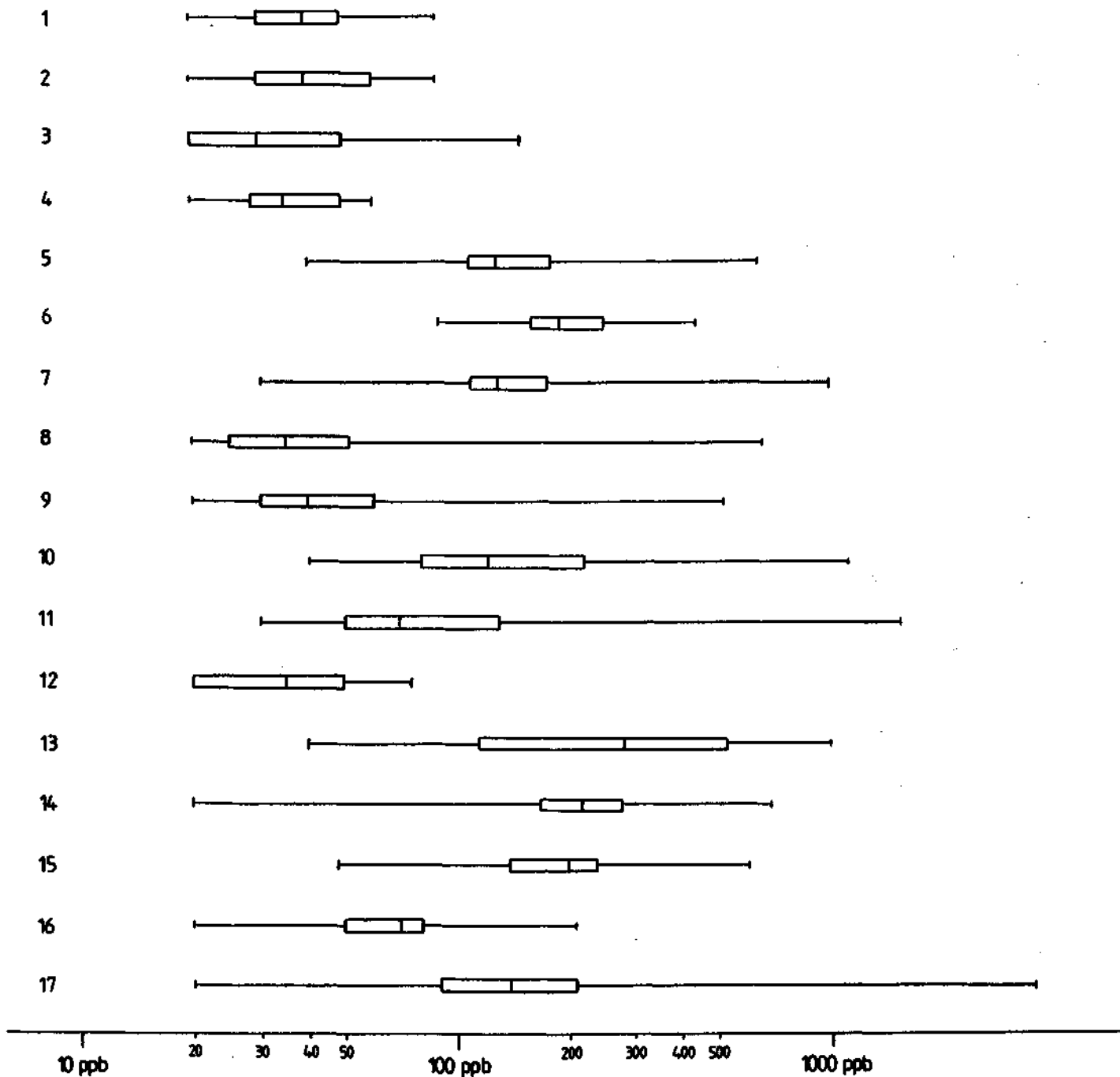


Abb.13: Beispiele von Fluorid-Gehalts-Verteilungen in Wässern aus verschiedenen geologischen Einheiten Österreichs in Boxplotdarstellung (logarithmische Skala!); Gebietszuordnung s.nächste Seite

Beprobungsgebiete in Abbildung 13:

- 1 Mittlere Grauwackenzone bei Schladming
- 2 Westliche Grauwackenzone Glemmtal (1989)
- 3 Westliche Grauwackenzone Glemmtal (1990)
- 4 Karnische Alpen/Osttirol
- 5 Gailtalkristallin/Osttirol
- 6 Defregger Kristallin südlich St.Jakob i.D.
- 7 Lienzer Dolomiten/Osttirol
- 8 Östl.NÖ.Kalkalpen, Quellen
- 9 Östl.NÖ.Kalkalpen, Gerinne
- 10 Bereich Annaberg/ÖK 73, Quellen
- 11 Bereich Annaberg/ÖK 73, Gerinne
- 12 Habachserie Bereich Hollersbach
- 13 Bereich Bergbau Achselalpe bei Hollersbach
- 14 Böhmisches Masse/Weinsberger Granit ÖK 34 (1977)
- 15 Böhmisches Masse/Weinsberger Granit ÖK 34/35 (1975)
- 16 Molassezone Bereich Hausruck
- 17 Tertiärgebiete am Ostalpenrand

Die Grafik gibt die Situation sehr gut wieder, daß nämlich in großen Abschnitten wichtiger geologischer Serien und Einheiten im allgemeinen eigentlich sehr niedrige Gehalte-Verteilungen vorherrschen, wie z.B. in der Grauwackenzone, den Karnischen Alpen oder den Nördlichen Kalkalpen.

Höhere Wertepegel sind aufzufinden im Zusammenhang einerseits mit bestimmten nichtmetamorphen vulkanogen beeinflussten Schichtgliedern (z.B.Kalkalpen) oder andererseits mit Fluoritmineralisationen in Zusammenhang mit Klüften oder Vererzungen.

Letztere Vorkommen sind meist räumlich eng abgrenzbar, wie die Verteilung im Nahbereich Bergbau Achselalpe (13) - eine Pb-Zn Vererzung mit Flußspat als Gangart - gegenüber der Verteilung in den umliegenden Gesteinen der Habachserie (12).

Verteilungsschwerpunkte >100ppb sind auch zu beobachten in Bereichen, in denen mit dem Auftreten höher mineralisierter Tiefenwässer gebunden an Störungszonen gerechnet werden kann; so z.B. in Verlängerung der Stallersattel-Störungszone bei St.Jakob.i.D. (6), im Verschnitt zwischen Gailtal- und Pustertalstörungszone (5) oder im Zusammenhang mit Störungen am Alpenostrand (17).

Flächenhaft höhere Gehalte weisen die Granitgebiete in der Böhmisches Masse auf (14,15), freilich auch hier an bestimmte Kluftrichtungen gebunden (SCHERMANN 1976).

3.1.3. Nitrat

In den letzten Jahren kam die Diskussion über die Sicherung der Trinkwasserversorgung in qualitativer Hinsicht am Beispiel der Nitratbelastung auch in Österreich in Gange. An dieser Stelle soll jedoch nicht ein weiterer Baustein zur diesbezüglichen Landwirtschaftsproduktions-abhängigen Belastungssituation geliefert werden, sondern auf Zusammenhänge und mögliche Entwicklungen aus anderem Blickwinkel aufmerksam gemacht werden.

Die Nitratgehalte in von Landwirtschaft nicht oder wenig beeinflussten Quellen und Grundwässer resultieren prinzipiell aus Angebot und Austrag an der Schnittstelle der Geo-/Bio-Systeme im mineralischen Unterboden. Wie hoch der Nitrat-Anteil an der Ionenkombination von Sickerwässern ist, hängt dabei ab von

- Eintrag aus Atmosphäre
- Nitrifikationsrate
- Aufbereitung und Verbrauch durch Bodenorganismen und Vegetation
- Bodentyp
- litho- und hydrochemischem Milieu.

Stickstoffaustrag ist bekannt und untersucht z.B. in Waldgebieten in Zusammenhang mit Kulturänderungen (wie Änderungen der Baumartenzusammensetzungen) oder Schlägerung. Die Austragsraten sind zwar dabei nicht hoch, jedoch signifikant meßbar gegenüber Backgroundverteilungen.

Gut untersucht sind auch die Zusammenhänge zwischen Nitrifikationsraten und der Untergrundlithologie - saure Böden auf silikatischem Gesteinsuntergrund erlauben nur niedrige Nitrifikationsraten, ein hohes Basenangebot aus dem Untergrund unterstützt Nitrifikation und damit bereits einen höheren Austrag, wenn die angebotenen Stickstoffmengen von der Vegetation nicht verarbeitet werden können (ELLENBERG et al. 1986, REHFUESS 1990).

Die Kombination von einerseits basenreichen Böden und andererseits hohen Immissions- oder Depositionsraten kann durchaus ebenfalls in Quellen mit Einzugsgebiet Wald zu Nitrat-Gehalten oberhalb der Trinkwassergrenzwerte führen! Solche Situationen wurden bereits mehrfach aufgefunden im Bereich von Molassezonenserien im OÖ. und NÖ. Alpenvorland.

Daß sich diese Tendenzen auch schon an niederen Wertepiegel ablesen lassen, wird im Folgenden diskutiert. Daraus könnten Hinweise auf Frühwarn- und Vorbeugemaßnahmen abgelesen werden.

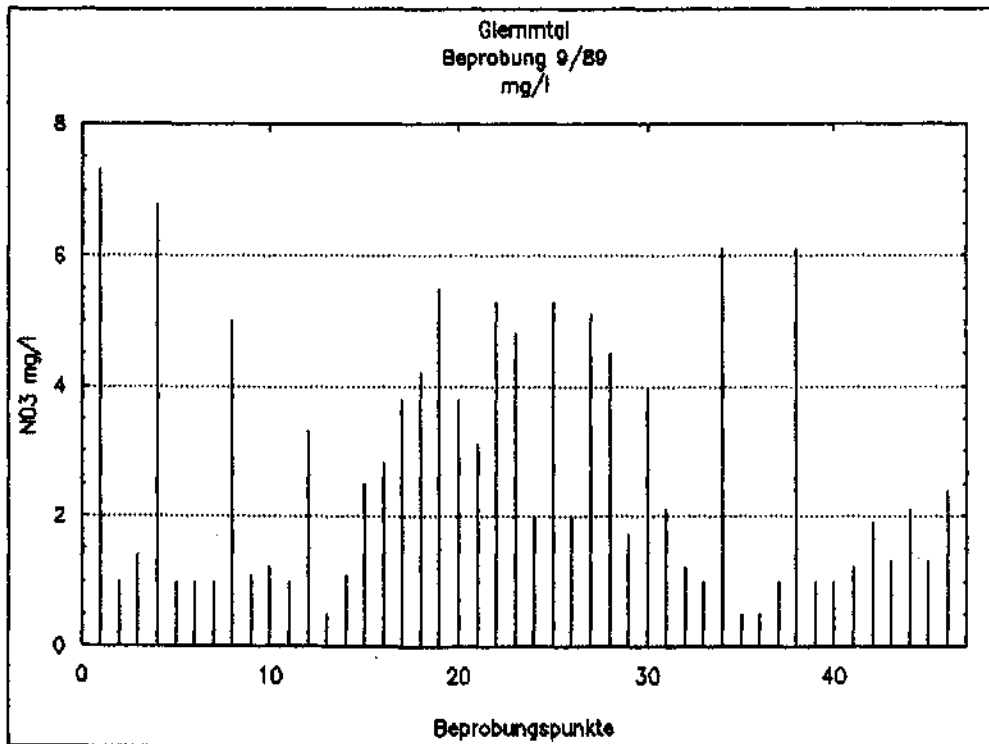
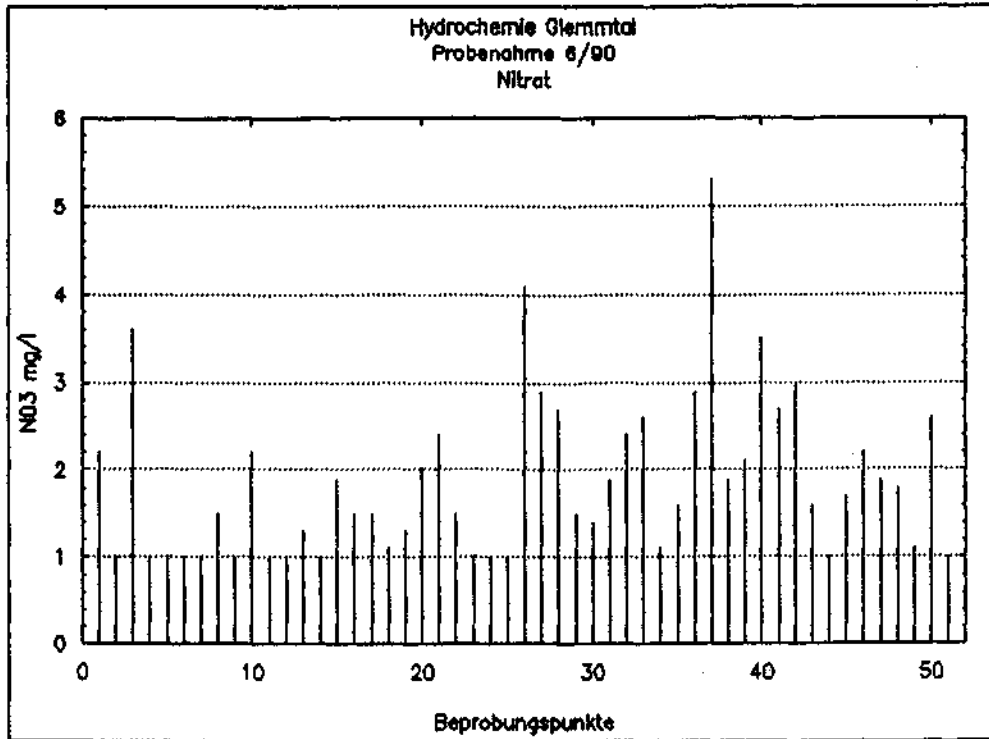


Abb.14: Nitratgehalte (mg/l) in Quellen und Kleingerinnen Westliche Grauwackenzone/Glemmtal

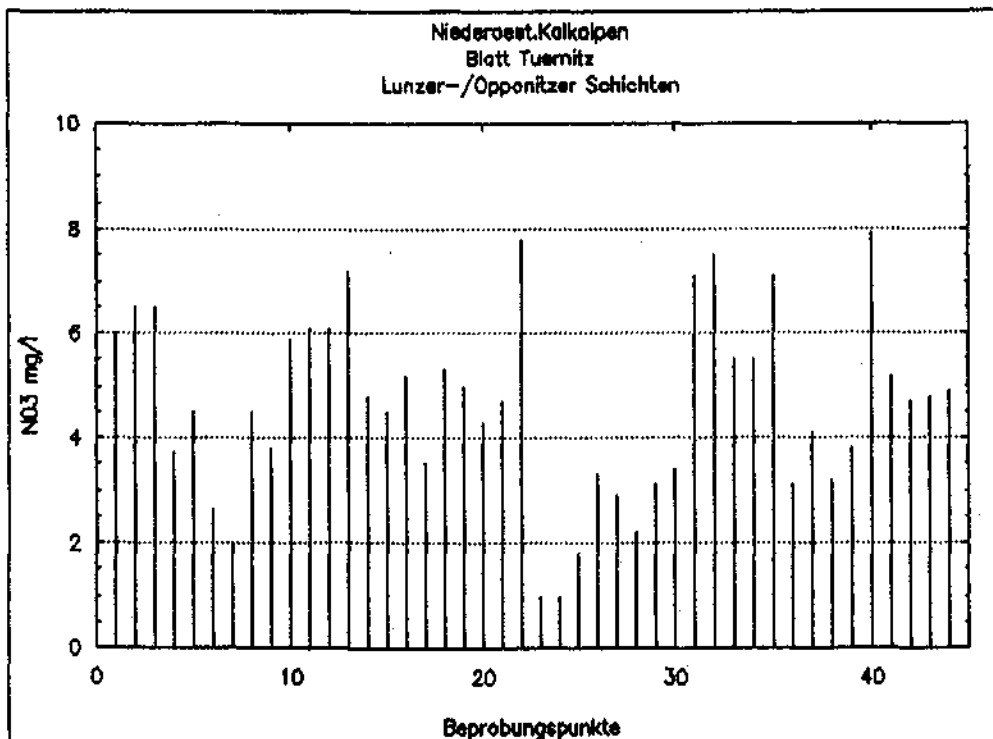
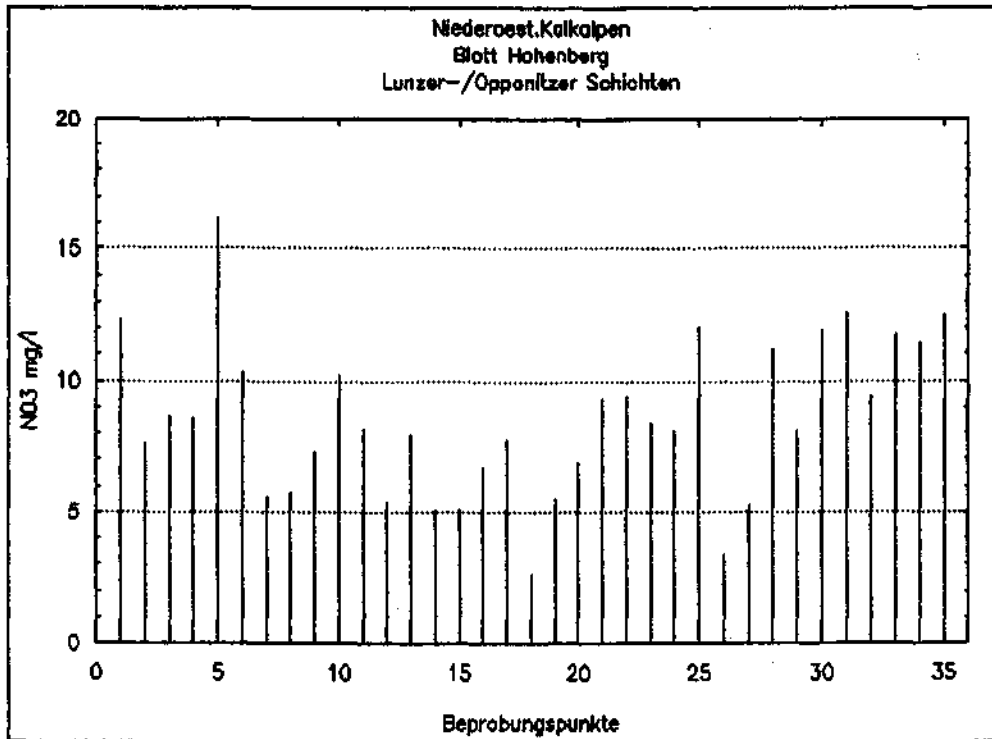


Abb.15: Nitratgehalte (mg/l) in Quellen und Kleingerinnen Einzugsgebiete Lunzer- und Opponitzer Schichten/ NÖ Kalkalpen

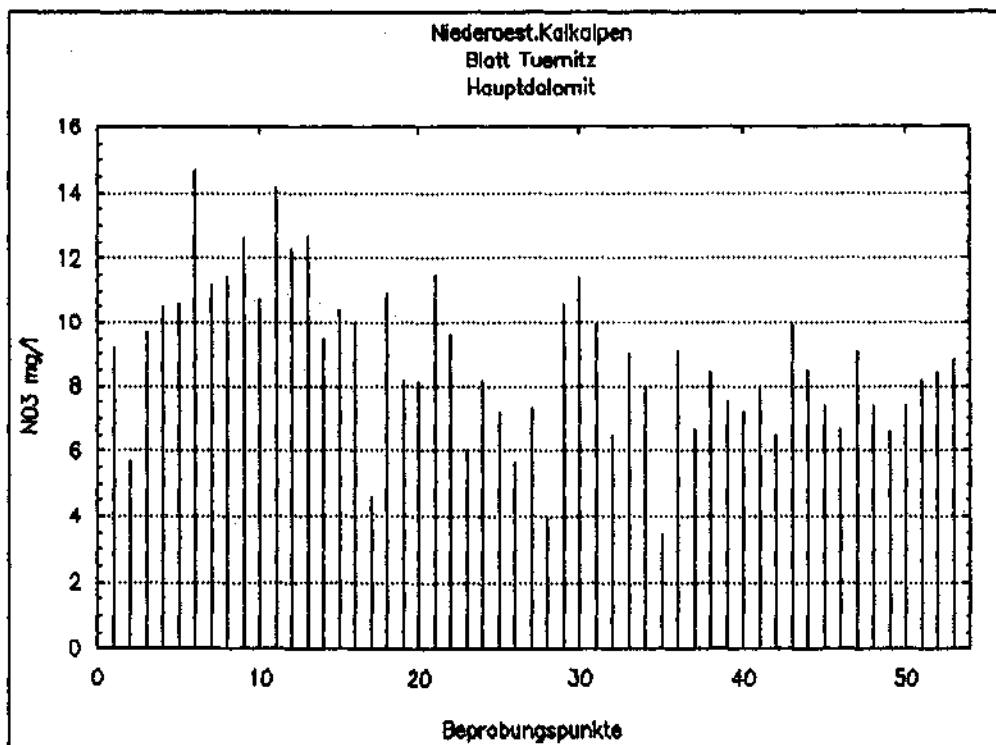
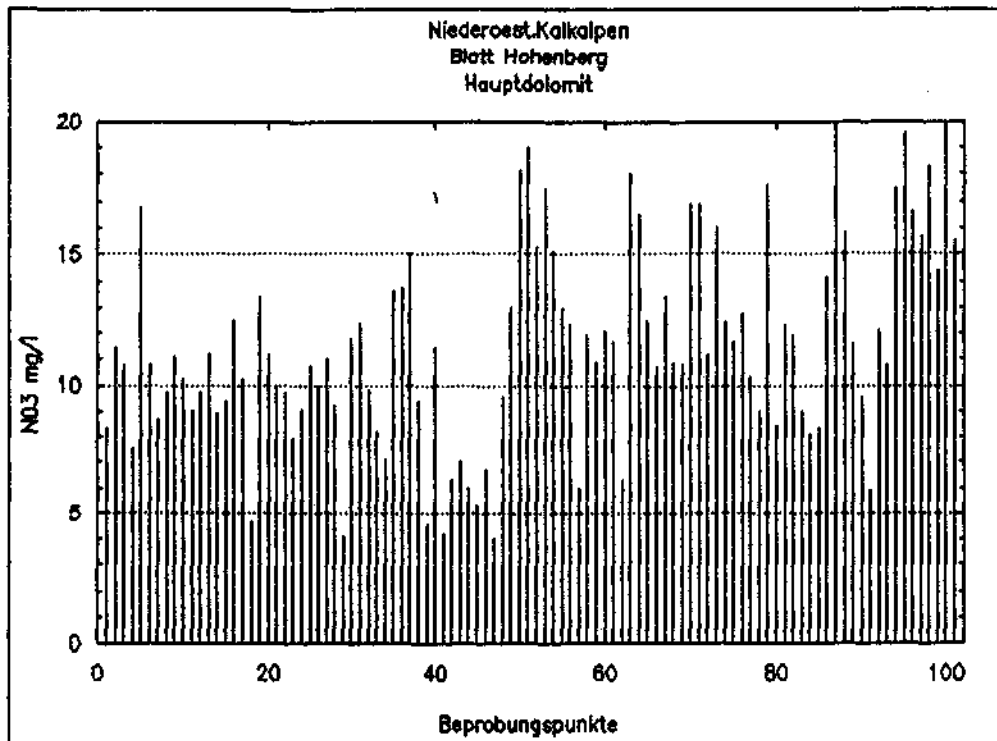


Abb.16: Nitratgehalte (mg/l) in Quellen und Kleingerinnen Einzugsgebiete Hauptdolomit/NÖ.Kalkalpen

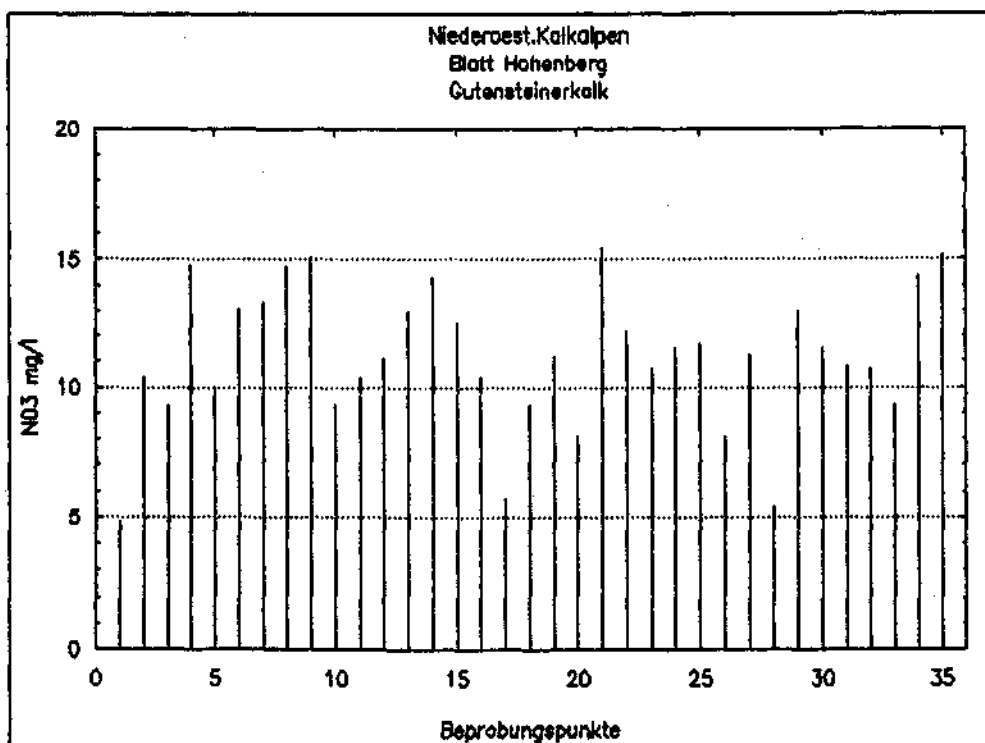
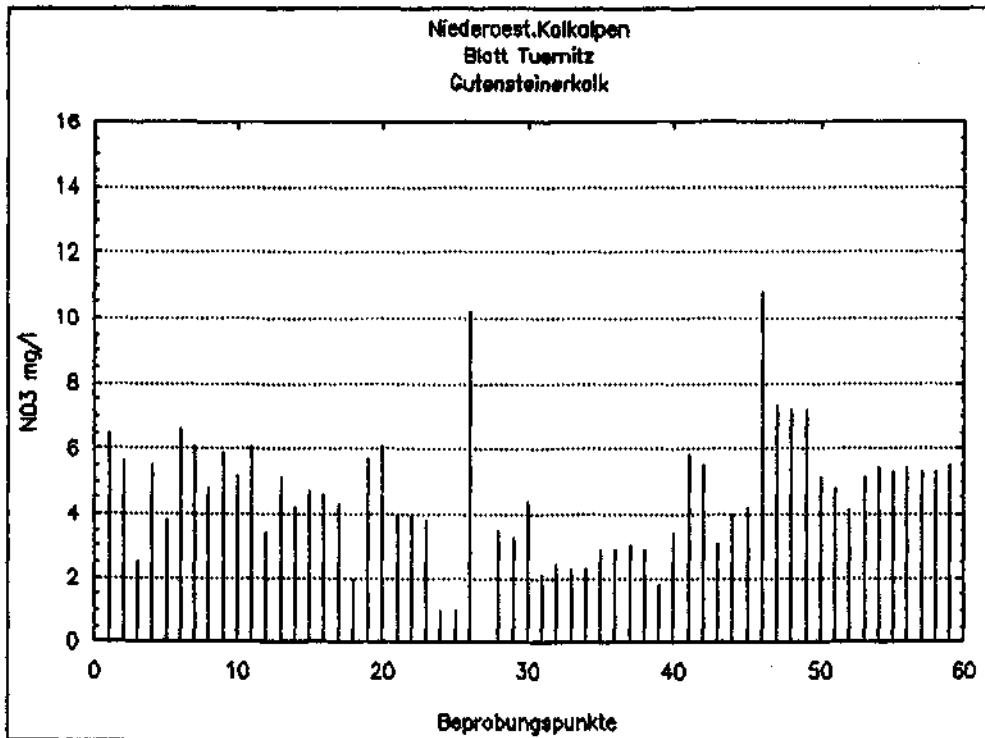


Abb.17: Nitratgehalte (mg/l) in Quellen und Kleingerinnen Einzugsgebiete Gutensteinerkalk/NÖ.Kalkalpen

Aus diesen Grafiken der Nitrat-Gehalts-Verteilungen ist abzulesen:

- + der Einfluß des lithochemischen Milieus
silikatisch/karbonatisch auf den Wertepiegel
 - rein silikatisch .. Glemmtal
 - rein karbonatisch .. Hauptdolomit
 - gewisse Zwischenstellung .. Lunzer-/Opponitzer
Schichten und Gutenst.
Kalk

- + der Einfluß der hydrologischen Situation
die jeweiligen Beprobungen beziehen sich auf unterschiedliche Jahre und damit auf unterschiedliche Abflußsituationen

Die Einzugsgebiete im Glemmtal beziehen sich fast ausschließlich auf bewaldete oder hochgelegene Gebiete mit Tonschiefern, Phylliten oder Sandsteinen im Untergrund; geringmächtige AC-Profile und Podsole sind überwiegend. In den Hauptdolomitgebieten herrschen tiefgründige Rendzinen vor, mit Versauerungstendenzen im Oberboden infolge fehlender (mineralischer) Adsorptions-Kapazität. Schichtglieder wie die Lunzer- und Opponitzerserien in den Kalkalpen besitzen einen relativ bunten und wechselnden lithologischen Aufbau mit einer Spannweite von Tonschiefer über Sandsteinen zu Mergel und Kalken, und somit auch sehr stark wechselnde Bodenverhältnisse.

Die hydrologischen Verhältnisse zum Zeitpunkt der Probenahme beeinflussen über die Abflußsituation - Verdünnungs- oder Konzentrations-Effekte - auch die jeweiligen Gehaltepegel. So liegen die Werte in den kalkalpinen Serien auf Blatt Hohenberg durchwegs viel höher als auf Blatt Türnitz - nicht ein Effekt der Geologieabhängigkeit, sondern des Probenahmezeitpunkts - für Blatt Hohenberg in einer eher trockenen Spätsommerperiode (September) ein Jahr nach der Probenahme im Juni auf Blatt Türnitz.

Im Sinne obiger Überlegungen und Erfahrungen aus Waldbau- und Ökosystemstudien lassen sich Szenarien höheren Nitratstragsrisikos insbesondere eingrenzen für
Reinkarbonatgebiete in Gebieten stärkerer
Immission und Deposition während
Trockenperioden (Spätsommer/Herbst);

also durchaus denkbare und weitverbreitete regionale und geologische Situationsverschneidungen in den Ostalpen.

3.2. Bodengeochemie

3.2.1. Angebot und Verfügbarkeit von Schwermetallen

Lange Zeit beherrschte die Diskussion über Grenzwertfragen der Schwermetalleinbringung in Böden durch Klärschlämme die Frage nach den summierten Gesamtgehalten der einzelnen Elemente. Erst in den letzten Jahren rückte die Problematik der Verfügbarkeit in den Vordergrund gegenüber linearen Überlegungen zu Globalgehalten. Mit dem Ansatz der "critical loads" und im Sinne gesamtheitlich-ökologischer Denkweise sind jedoch umfassendere Überlegungen zu Gehalten in ihre jeweiligen lithologisch-bodenkundlichen Umgebung und der landschaftskulturellen Entwicklung einzubetten.

Dazu ist notwendig das Wissen um

- das primäre Angebot im Gesteinsuntergrund, dessen Bindungsform und das jeweilige mineralogisch-hydrochemische Milieu in der Verwitterungszone
- den rezenten Bodenzustand als Ergebnis der Bodenentwicklungsgeschichte und der Nutzungsentwicklung
- den rezenten Vegetationszustand und die aktuelle Kulturart
- eine Abschätzung der Entwicklung in der näheren Zukunft und ihre möglichen Auswirkungen auf Mobilisierung und/oder Bindung der einzelnen Elemente.

In mehreren Bundesländern sind ausgehend von der Erkenntnis großer Wissensdefizite systematische Bodenzustandserhebungen gestartet oder bereits abgeschlossen worden.

Auf Grund gewisser Ausführungs- und Dokumentationskonzepten hatten diesen Arbeiten gewisse Mängel in Bezug auf die Umsetzbarkeit an:

- + Rasterpunkte mit sehr weiten Abständen
- + Schwerpunktlegung auf die intensiv landwirtschaftlich genutzten Bereiche
- + am Probenahme-"Punkt" häufig Mischprobengewinnung
- + Probenahmekonzepte teilweise mechanistisch und nicht genetisch ausgerichtet
- + keine punktzuordenbare und rückverfolgbare Dokumentation

Diese Punkte engen die Möglichkeiten der Diskussion über die Analysen- und Auswertungsergebnisse stark ein, besonders aber deren Umsetzbarkeit. Die eventuelle Frage nach deren Repräsentativität kann praktisch nicht beantwortet werden, was

wichtig wäre, wenn die ausgewählten Punkte Teil eines mittelfristigen Monitoringsystems sein sollen.

Im Zuge von zahlreichen Prospektions- und Rohstoffpotentialprojekten wurden auf geowissenschaftlicher Seite in den letzten fünfzehn Jahren eine Fülle von bodengeochemischen Daten erarbeitet (tiefer B-Horizont oder Übergang B/C). Primäres Ziel dabei war zwar der Einsatz als Vererzungsindikator, jedoch war die Probenahmedokumentation von Anfang an so ausgelegt, daß eine Reihe wichtiger Parameter miterhoben wurde und zu Faktorenauswertungen zur Verfügung steht.

Neben der genauen Lagedokumentation liegen Daten vor zu Bodentyp, Vegetation, Standort, aktueller Nutzung und gemessenem pH-Wert. Da parallel jeweils entsprechend detaillierte geologisch-geochemische Aufnahmen ausgeführt wurden, wird es möglich, dieses Material zu diskutieren hinsichtlich

- Zusammenhang Schwermetalle/Gesteinsuntergrund
- "- /Verwitterungsverhalten
- "- /Bodentyp
- "- /Vegetationsstandort
- "- /Kulturart
- "- /Raster- oder Profilpunktdichte
- "- /pH-Wert

In mehreren Gebieten wurden darüberhinaus die Schwermetallgehalte an unterschiedlichen Korngrößen und mit unterschiedlichen Laugungsverfahren analysiert.

An anderer Stelle wurde in Ansätzen diese Diskussion bereits begonnen (KLEIN & PIRKL 1986, PIRKL 1986, PIRKL 1990), fruchtbar kann diese jedoch erst werden, wenn sie mit dem Wissen, den Detailergebnissen und Auswertungen der Bodenzustandsanalysen verknüpft wird und über die intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebiete hinausgehen - in Gebiete in denen "natürliche" Zusammenhänge noch eher erkennbar werden.

Im Folgenden werden basisstatistische Grundinformationen einzelner Elemente nach geologisch-tektonischen Räumen einigen Auswertungshinweisen gegenübergestellt .

ELEMENT	ANZAHL	BEREICH	MIN.	MAX.	MEAN	STAND. ABW.	GEOLOG. UNTERGRUND	
Pb	35	Rechnitz Profil G-A	15	35	22,7	4,8	Rechnitzer Schieferinsel	
	30		G-B	13	34	20,7		4,9
	25		G-C	13	173	28,4		30,6
	20		G-D	19	41	27,3		6,9
	10		G-E	14	36	22,1		5,9
	104	Pinzgau	Raster A	20	126	45,7	18,9	Grauwackenzone Phyllite, Quarzite Grünschiefer
	108		Raster B	16	133	38,7	19,1	
	127		Raster C	8	105	38,2	19,1	
	63		Raster D	22	88	36,4	13,8	
	63		Raster E	23	131	42,3	15,4	
	155	Gloggnitz E	4	101	30,3	16,8	Semmeringkristallin Gneise, Glimmerschiefer	
	127	Wildschönau E	19	1710	64,2	38,1	Grauwackenzone Phyllite, Quarzite, Grünschiefer	
	228		Wildschönau W	4	278	62,5		40,4
200	Türnitz	12,5	1365	79,7	129,6	Nördl. Kalkalpen, Kalke, Dolomite		
1200	Graz N/Stiwoll-Kh.			21	42	Graz-Paläozoikum, Kalke, Dolomite		
377	Kreuzeckgruppe S	20	330	29,8	13,4	Altkristallin, Gneise, Glimmerschiefer		
40	Achselalpe	<20	350	79,9	68,3	Tauernschieferhülle Muskovitgneis Habacherie Grünschiefer Gabbroamphibolit		
139		4	290	55,4	54,3			
36		20	180	25,8	40,4			
70		2	4800	375,4	908,6			
211	Flattnitz	10	367	32,9	33,3	Gurktaler Alpen phyllit, Glimmerschiefer Schwarzschiefer Dolomite		
18		20	325	70,8	94,4			
48		13	550	91,7	106			

ELEMENT	ANZAHL	BEREICH	MIN.	MAX.	MEAN	STAND. ABW.	GEOLOG. UNTERGRUND	
Zn	35	Rechnitz Profil G-A	29	101	57,3	16,2	Rechnitzer Schieferinsel	
	30		G-B	22	106	51,4		18,1
	25		G-C	32	101	61,4		16,8
	20		G-D	45	94	67,7		14,2
	10		G-E	29	84	64,6		
	104	Pinzgau N	Raster A	16	149	75,1	26,9	Grauwackenzone Phyllite, Quarzite Grünschiefer
	108		Raster B	19	144	68,9	24,2	
	127		Raster C	19	126	58,0	21,3	
	63		Raster D	23	100	63,7	15,7	
	63		Raster E	33	106	71,8	17,8	
	155	Gloggnitz E	11	234	80,1	33,5	Semmeringkristallin Gneise, Glimmerschiefer	
	127	Wildschönau E	13	600	130,9	94,9	Grauwackenzone Phyllite, Quarzite, Grünschiefer	
	228		Wildschönau W	<5	335	83,4		54,3
200	Türnitz W	5	1289	108,1	127,6	Nördl. Kalkalpen, Kalke, Dolomite		
163	Haintsch	3	226	55,5	37,8	Oststeir. Kristallin, Gneise, Grünschiefer		
1200	Graz N/Stiwoll-Kh.			42	42	Grazer Paläozoikum, Kalke, Dolomite		
377	Kreuzeckgruppe S	60	350	111	27,2	Altkristallin, Gneise, Glimmerschiefer		
40	Achselalpe	5	135	37,9	33,1	Tauernschieferhülle Muskovitgneis Habacherie Grünschiefer Gabbroamphibolit		
139		9	800	78,7	117,4			
36		21	85	37,6	13,0			
70		15	3700	293,3	706,7			
221	Flattnitz	41	260	86,9	29,7	Gurktaler Alpen phyllit, Glimmerschiefer Schwarzschiefer Dolomite		
18		38	210	91,2	47,8			
48		23	1800	126,0	253,0			

Abb.18: Statistische Basiswerte für Pb und Zn in tieferen B-Horizonten verschiedener geologisch-tektonischer Räume

ELEMENT	ANZAHL	BEREICH	MIN.	MAX.	MEAN	STAND. ABW.	GEOL. UNTERGRUND	BEMERKUNGEN	
Cu	10	Rechnitz Profil 6-E	6,7	41,2	28,0	10,8	Rechnitzer Schieferinsel	Profile	
	35		6-A	15,8	50,6	27,4			7,5
	30		6-B	13	52,6	22,9			8,1
	25		6-C	11,4	45,2	25,5			8,0
	20		6-D	13,3	73,4	26,1			13,0
	104	Pinzgau Nord	5,8	80,9	21,56	11,3	Grauwackenzone	Raster	
	108		Raster A	3,3	87	29,8			15,4
	127		Raster B	6,6	430,6	39,2			52,1
	63		Raster C	13,6	64,3	25,9			8,0
	63		Raster D	8	1970	138,4			286,9
155	Gloggnitz E	1,3	50,5	20,8	9,3	Semmeringkristallin Gneise, Glimmerschiefer	Profile und Raster 500x500		
127	Wildschönau Ost	6	114	30,4	19,2	Grauwackenzone	Raster 250x250		
228		Wildschönau West	2	114	22,1			14,1	
200	Türnitz West	2,4	283	19,9	21,6	Nördl. Kalkalpen, Kalke, Dolomite	Raster 1 x 1 km		
377	Kreuzeckgruppe S	20	170	46,4	12,7	Altkristallin, Glimmerschiefer, Gneise	Profile		
40	Achselalpe	4	83	19,1	17,1	Tauernschieferhülle Muskowitgneis	Profile		
139		14	200	42,7	25,3				
36		20	230	56,9	40,0				
70		8	540	55,4	70,8				
221		Flattnitz	7	94	24,4			13,4	Phyllit, Glimmerschiefer
18	7		32	19,7	6,8				
40	5		54	19,2	11,5				

ELEMENT	ANZAHL	BEREICH	MIN.	MAX.	MEAN	STAND. ABW.	GEOL. UNTERGRUND	
Ni	35	Rechnitz Profil A-G	11	50	25,2	9,9	Rechnitzer Schieferinsel	
	30		6-B	4	56	18,2		10,7
	25		6-C	16,0	57	29,2		10,1
	20		6-D	15	60	28,7		10,6
	10		6-E	9	38	26,3		8,2
	104	Pinzgau N	7	109	30,9	14,5	Grauwackenzone	
	108		Raster A	5	139	41,9		24,5
	127		Raster B	8	150	35,2		19,9
	63		Raster C	8	34	20,5		5,5
	63		Raster D	6	54	23,7		8,1
	155	Gloggnitz E	1	65	21,5	8,2	Semmeringkristallin, Quarzite, Glimmerschiefer	
	127	Wildschönau E	5	230	36,9	30,6	Grauwackenzone	
	228		Wildschönau W	2	83	18,1		11,9
160	Malntsch	7	250	53,9		Oststeir. Kristallin, Gneise, Grünschiefer		
211	Flattnitz	11	230	40,5	24,5	Gurktaler Alpen		
18		9	56	29,3	12,9			
48		7	86	32,7	19,4			

Abb.19: Statistische Basiswerte für Cu und Ni in tieferen B-Horizonten verschiedener geologisch-tektonischer Räume

Über Verfügbarkeit und Mobilität von Schwermetallelementen Bescheid zu wissen, erscheint besonders in den Gebieten Österreichs von Bedeutung, in denen bereits in Folge verbreiteter Erzmineralführung das natürlich-lithogene Elementgesamtangebot weit über den künstlichen Schwellen- und Grenzwertregelungen oder Vorgaben liegt. Meist kommt in diesen Räumen erschwerend dazu, daß jahrhundertelange Bergbautätigkeit zur "Voraufbereitung" und weiteren Gebietsstreuung über Halden, Transportwege und Verarbeitungsplätze beigetragen hat.

Änderungen bei Redox-Verhältnissen, Aggressivität und pH-Wert der Sickerwässer - als Folge von z.B. forstwirtschaftlichen Eingriffen, Wasserhaushaltsänderungen in Hängen, Auswirkungen von Immission und Deposition - können in der Folge eingestellte Gleichgewichte stören und Anstoß geben zu Mobilisierung oder Re-Mobilisierung.

Insbesondere muß unterhalb bereits primär stark saurer alpiner Waldböden - Unterböden in Kristallingebieten häufig in Bereichen des Austausch- oder Aluminiumpuffers - mit Beschleunigung bestimmter Mobilisierungsprozesse gerechnet werden. Fangnetz gegen direkten Austrag ins Grundwasser bildet dann die mineralogisch-hydrochemische Situation in der Verwitterungszone, ob dort noch entsprechende Adsorptions- und Pufferkapazität vorhanden ist.

Auch dazu können Ergebnisse in Verknüpfung mit mineralogischen Untersuchungen diskutiert werden.

Tests an Material aus Unterböden über Tonschiefer und Metaareniten der Westlichen Grauwackenzone - in Gebieten höherer lithogener Schwermetallgehaltswahrscheinlichkeit - verweisen auf entsprechende Vorgänge und Effekte:

Einerseits konnten in Vollaufschlüssen an der Fraktion $>0,18\text{mm}$, die etwa dem üblichen Standard der pedologischen Analytik entspricht, in Bereichen nachgewiesener Erzmineralführung häufig keine entsprechenden Metallelementgehalte aufgefunden werden, andererseits konnten dagegen in gröberen Kornfraktionen an demselben Probenmaterial schon mittels Leaching-Analyse extrem höhere Elementangebote nachgewiesen werden.

Ein Hinweis darauf, daß trotz prinzipiellen Angebots in der bereits durch Verwitterung weitgehend aufbereiteten Fraktion durch Lösungsvorgänge die mobileren Elemente abtransportiert wurden, jedoch mittelfristig und/oder bei hydrochemischen Rahmenbedingungsänderungen Mobilisierung möglich wird.

Somit sind in den alpinen Gebieten sehr häufig unausgewogene Verhältnisse und Beziehungen zwischen prinzipiell möglichem Angebot / kurz- und mittelfristig Nachlieferbarem / aktuell verfügbarem Angebot zu erwarten. Siehe nachfolgende Beispielsgrafiken von Material aus dem Glemmtal (Abb.20 - 22).

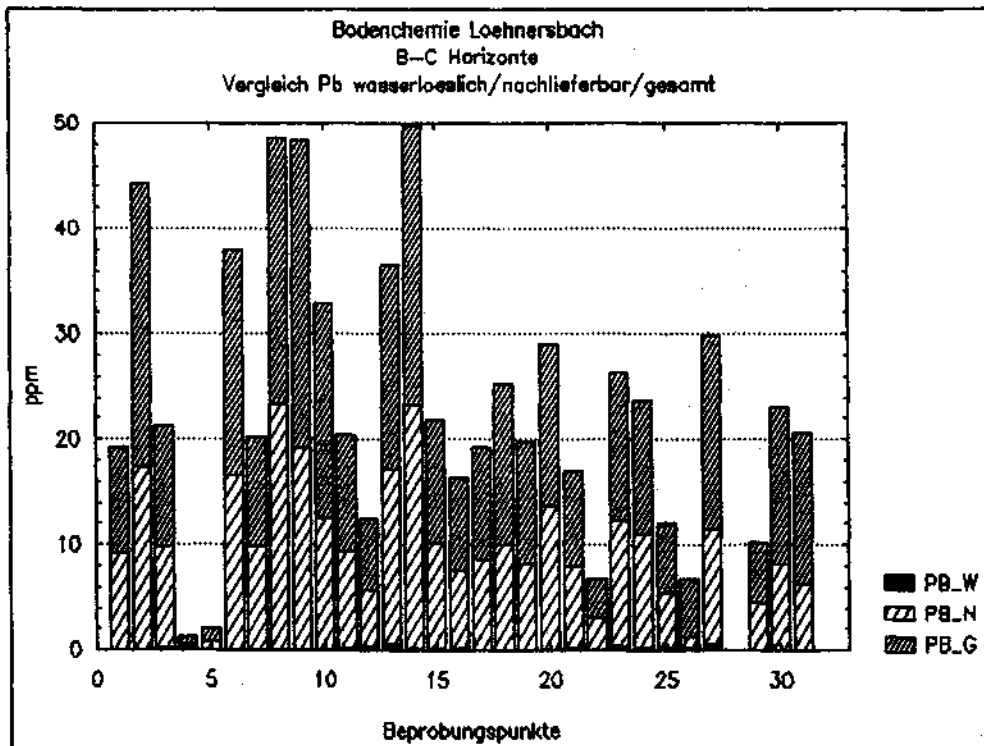
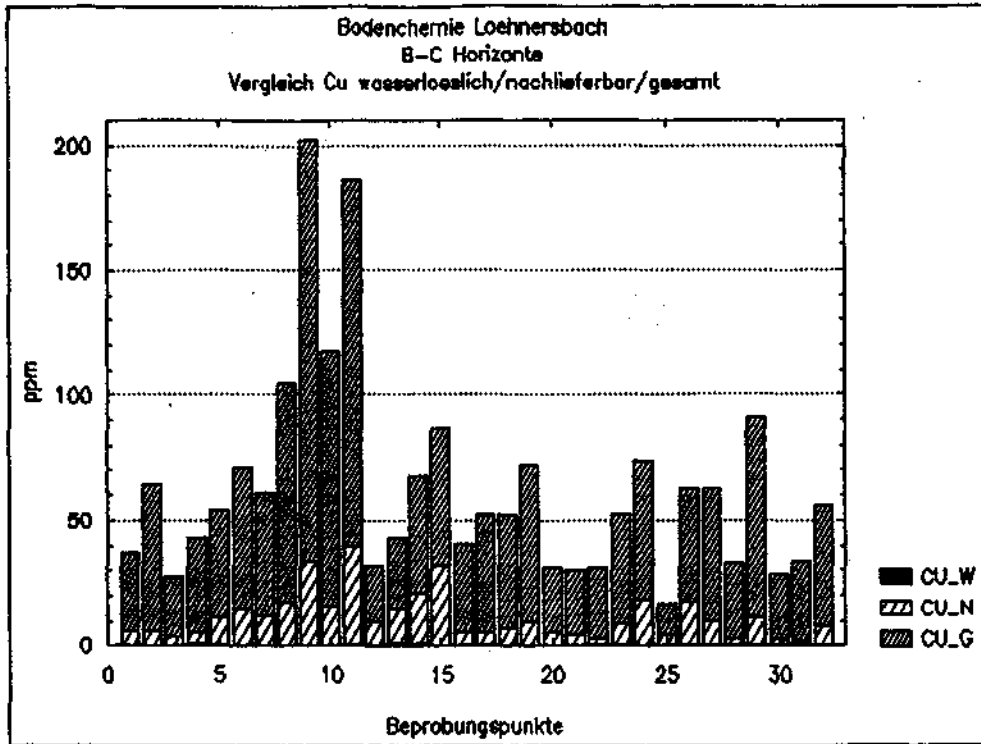


Abb.20: Ergebnisse fraktionierter Analytik von Pb und Cu an B- und C-Horizont-Proben Löhnersbach/Glemmtal

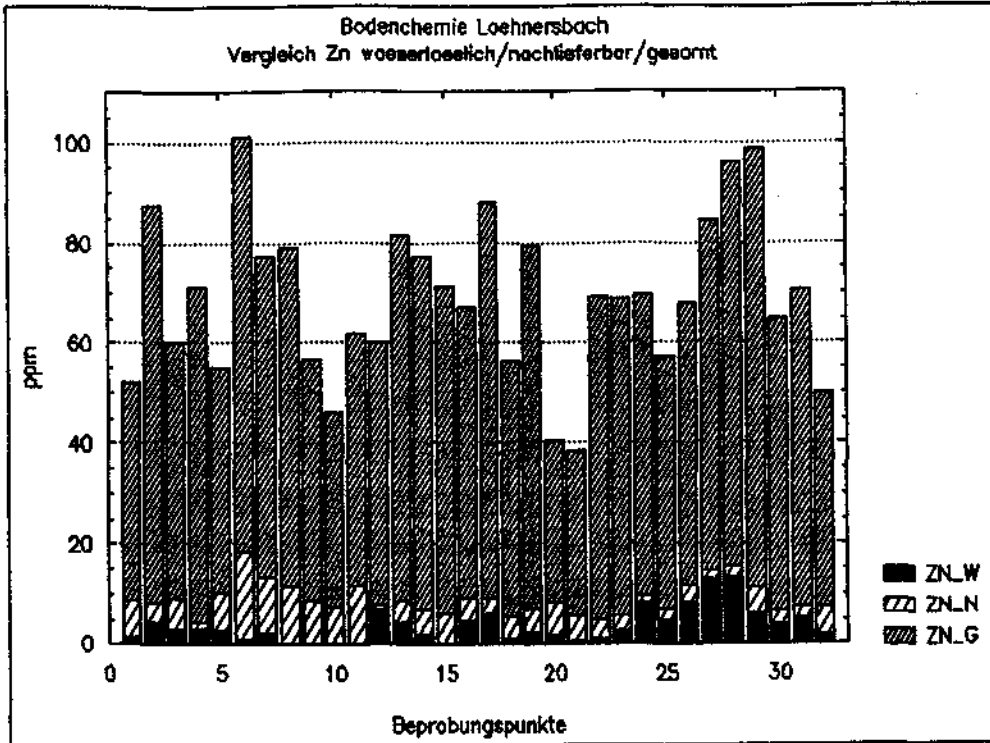


Abb.21: Ergebnisse fraktionierter Analytik von Zn an B- und C-Horizont-Proben Löhnersbach/Glemmtal

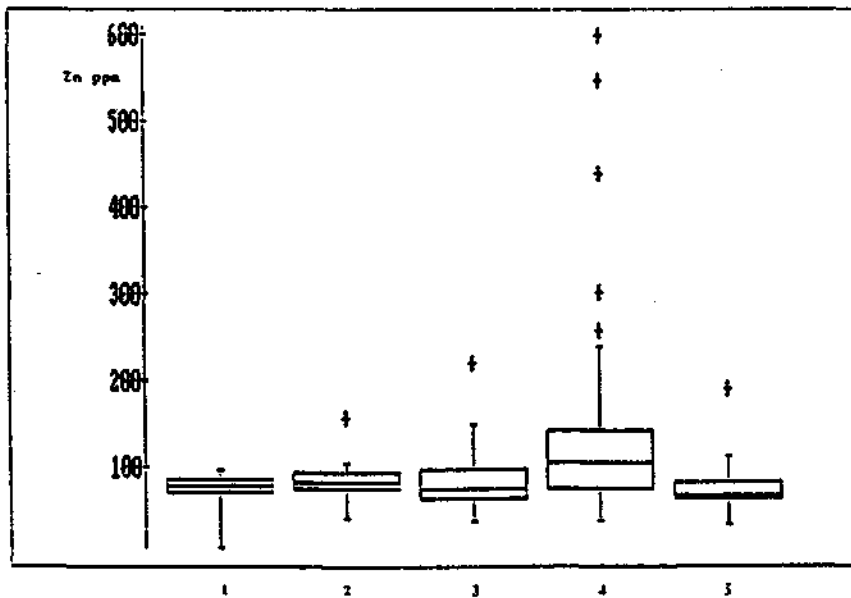


Abb.22: Vergleich an Zn-Gehalten in verschiedenen Probenmedien und Korngrößen / Bereich Viehofen, Glemmtal

- 1 Bachsedimentgeochemie VA
- 2 Bachsedimentgeochemie FGJ
- 3 Bodengeochemie <0,18mm, Vollaufschluß
- 4 Bodengeochemie >0,18mm, Vollaufschluß
- 5 Bodengeochemie >0,18mm, Leaching

3.2.2. pH-Verteilungen in Unterböden

Anschließend an die oben angesprochene Problematik der angetroffenen Säurepufferbereiche in Unterböden und den damit verbundenen Wirkungsketten mineralogisch-hydrochemischer Umfeldbedingungen in der Verwitterungszone, wird auf das umfangreiche Material systematischer pH-Wert Messungen parallel zu Beprobungen an Unterböden im Zuge von Rohstoffforschungsprojekten verwiesen. Das Meßdatenkollektiv erscheint deshalb auswertungswürdig, da hinsichtlich der Probenahme-Rahmenbedingungen und des jeweiligen Meßvorgangs personell und analytisch eine fast hundertprozentige Vergleichbarkeit vorliegt, und darüberhinaus die Punkte lagemäßig und in ihrem Umfeld sehr genau beschrieben wurden. Das Material bezieht sich dabei auf über 3000 Probepunkte in zahlreichen geologischen Einheiten der Ostalpen. Die Dokumentation liegt in Form von Karteikarten und Teilauswertungen an der Geol.Bundesanstalt.

Die Messungen von pH und Redox erfolgten am Probenpunkt in einer 0.01m Kalziumchlorid-Suspension.

Die Horizontzuordnung der Messungen entspricht etwa der Tiefenstufe 30-50cm der Österreichischen Bodenzustandsaufnahmen.

An Hand der ersten Ergebnisse der Österreichischen Waldboden-Zustandsinventur (ENGLISCH et al. 1991) läßt sich der Aussagewert des Materials abschätzen. In diesem Bericht werden vorläufige Teilauswertungen vorgestellt und erste Problemkreise andiskutiert.

Unter anderem wird darin festgehalten:

"..Die Häufigkeitsverteilung ist in allen Tiefenstufen des Mineralbodens deutlich zweigipflig. Die Maxima liegen oberhalb pH 6 und unterhalb 4.2, das ist im Karbonat- und im Fe-Al-Pufferbereich."

"..Überraschend gering besetzt ist der Silikatpufferbereich..."

Letztere Aussage - als überraschend eingestuft - führt direkt zurück zu den Hinweisen der Zusammenhänge Lithologie/Mineralogie/Verwitterungsverhalten/hydrochemisches Umfeld, die durchaus aus vorliegenden und umsetzbaren Untersuchungen herausgelesen werden können, wodurch dieses Ergebnis nicht mehr so überraschend wäre.

Die Meßweltergebnisauswertung läßt ähnliche Schlüsse wie oben zu, belegt aber auch die starke regionale Varianz und die Varianz innerhalb der Arbeitsgebiete. Werteverteilungen im Silikatpufferbereich sind auf silikatischem Untergrund hauptsächlich AC-Profilen mit hoher aktueller Verwitterungsdynamik zuzurechnen.

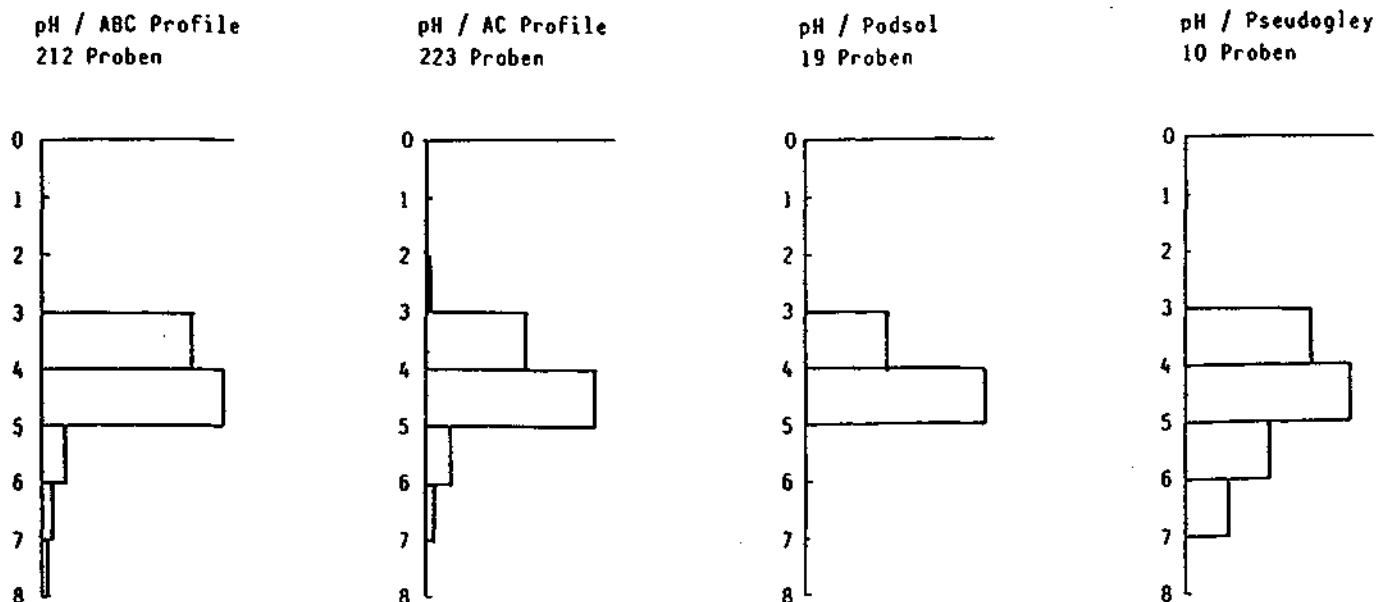


Abb.23: pH-Wert Häufigkeitsverteilungen im Unterboden (30-50cm) Oberpinzgau Sonnseite

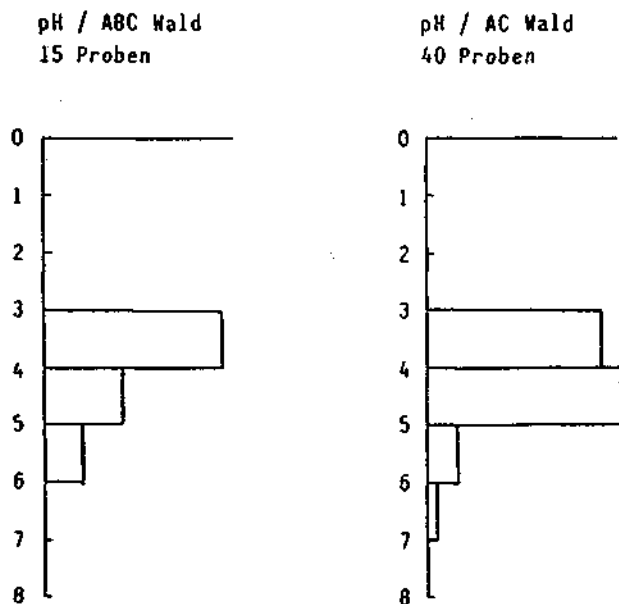
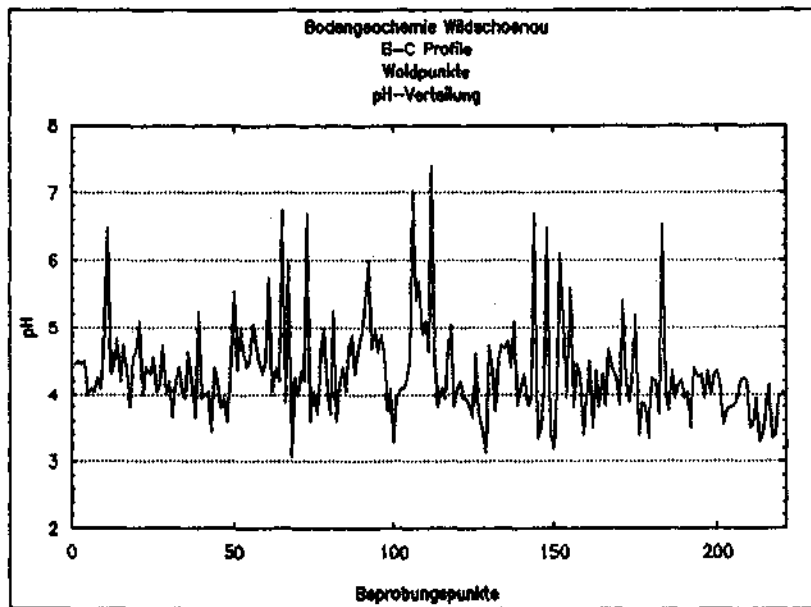
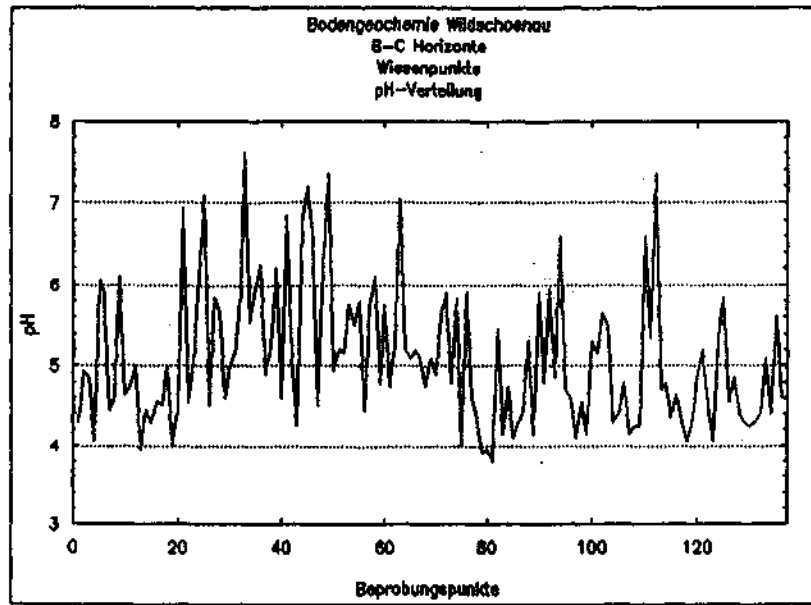


Abb.24: pH-Wert Häufigkeitsverteilungen im Unterboden (30-50cm) N Piesendorf/Oberpinzgau; Arbeitsgebiet 0,5 km²



pH / Wald
317 Proben

pH / Wiese
147 Proben



Abb.25: pH-Wert Verteilungen im Unterboden (30-50cm)
Bereich Wildschönau-Alpbach nach Wald- und
Wiesenpunkten

3.3. Bachsedimentgeochemie

3.3.1. Hinweise zum Aufbereitungsgrad

Der Einsatz des Probemediums Bach- oder Flußsediment und dessen Brauchbarkeit bei geochemischen Prospektionen geht von der Voraussetzung aus, daß die Aufbereitung im Bachlauf zu einer Homogenisierung des Gesteinsmaterials einerseits und zu einer relativ gleichmäßigen Information über das Einzugsgebiet führt. Nicht immer ist jedoch dieser gewünschte Effekt gewährleistet - z.B. reicht oft in kurzen und steilen Gerinnen in den Alpentälern die Transportstrecke nicht zu einer Homogenisierung aus oder Korngrößenunterschiede der Mineralkörner (etwa bei porphyrischem Gefüge) führen rasch zu An- oder Abreicherungen im Bachverlauf je nach Steilheit und Transportvermögen.

Bei Auswertungen und Interpretationen bachsedimentgeochemischer Daten sind deshalb diese Effekte und Vorgänge mitzubedenken und können sich manchmal als Störfaktoren erweisen.

Andererseits ist es jedoch möglich, diese Tatsachen auch positiv zu nutzen und zwar in zweifacher Hinsicht:

- a. als Indikatoren für Sedimentaufbereitungs- und Sedimenttransportvorgänge und
- b. als eventuelle Überbrückung fehlender gesteinsgeochemischer Analysen

Im Fall a. werden entweder bekannte Mineralkorngrößenunterschiede bewußt genutzt oder Anreicherungsverfahren von Schwermineralien herausgearbeitet, um die Sedimententwicklung entlang des Profils eines Baches oder Flußes zu studieren. Bei gleichkörnigen Ausgangsgesteinen und bekannten Element-/Mineralverknüpfungen ist es wiederum eventuell möglich, die fortschreitende physikalische Aufbereitung herauszuarbeiten.

Im Fall b. kann z.T., wenn noch ein geringer Aufbereitungs- und Trennungsgrad des Mineralspektrums vorliegt, über die relativen Elementverhältnisse auf den Ausgangschemismus geschlossen werden, wodurch etwa gesteinschemische Analytik eingespart oder gezielt angesetzt werden könnte. Ermöglicht wird dies nicht zuletzt auch durch die getroffene Wahl eines relativ groben Korngrößenschnittes bei der Absiebung für die Analysenprobe (<0.18 mm) aller Probepunkte für den Geochemischen Atlas der Republik Österreich.

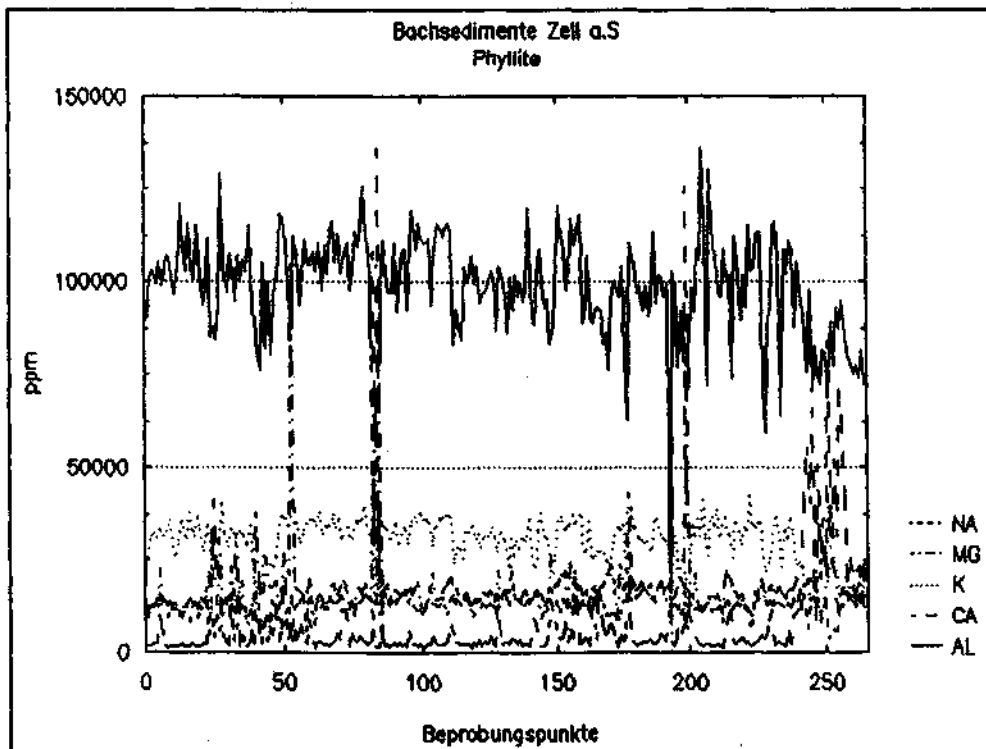
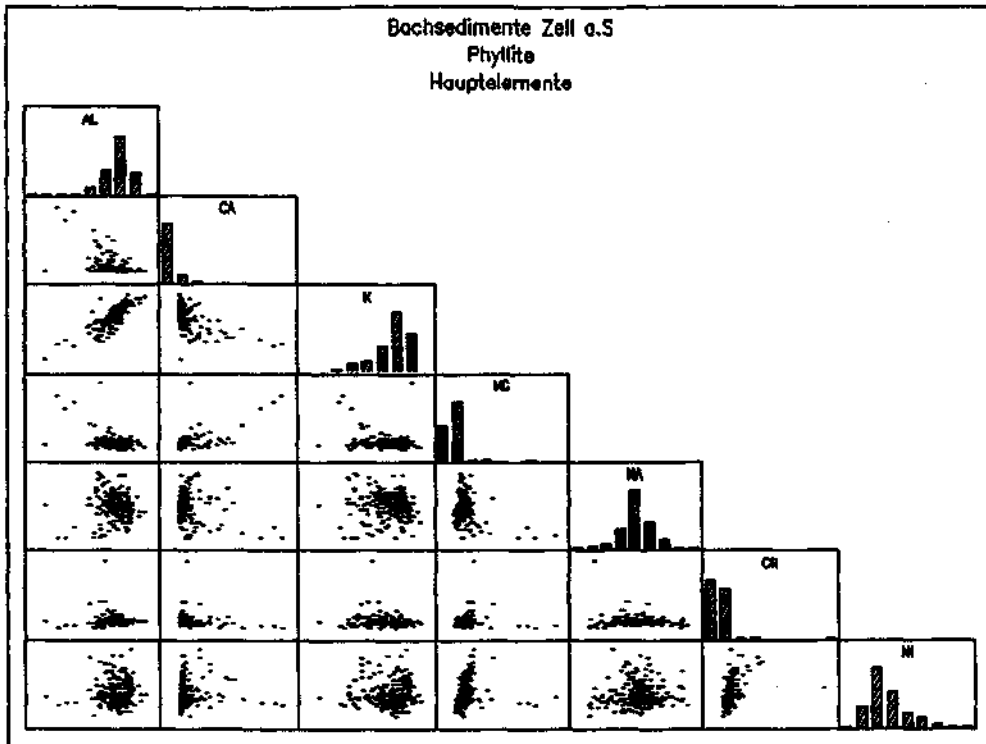


Abb.26: Verteilung und Verknüpfung von Hauptelementen in Bachsedimenten aus Einzugsgebiet Phyllite Westliche Grauwackenzone, Blatt Zell a.S.

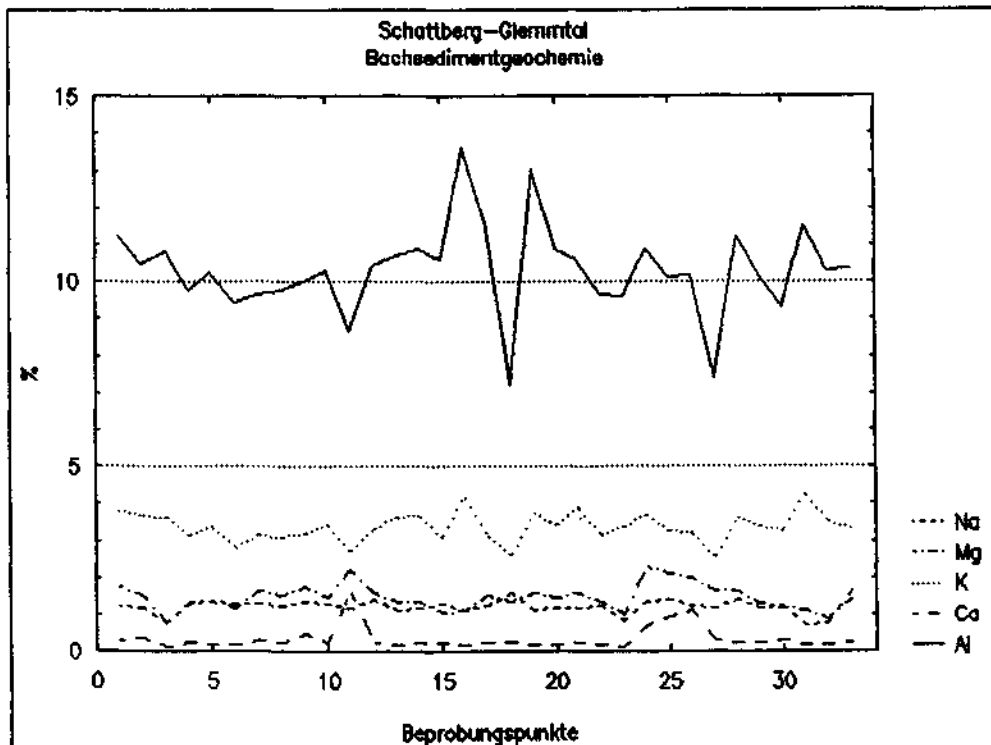
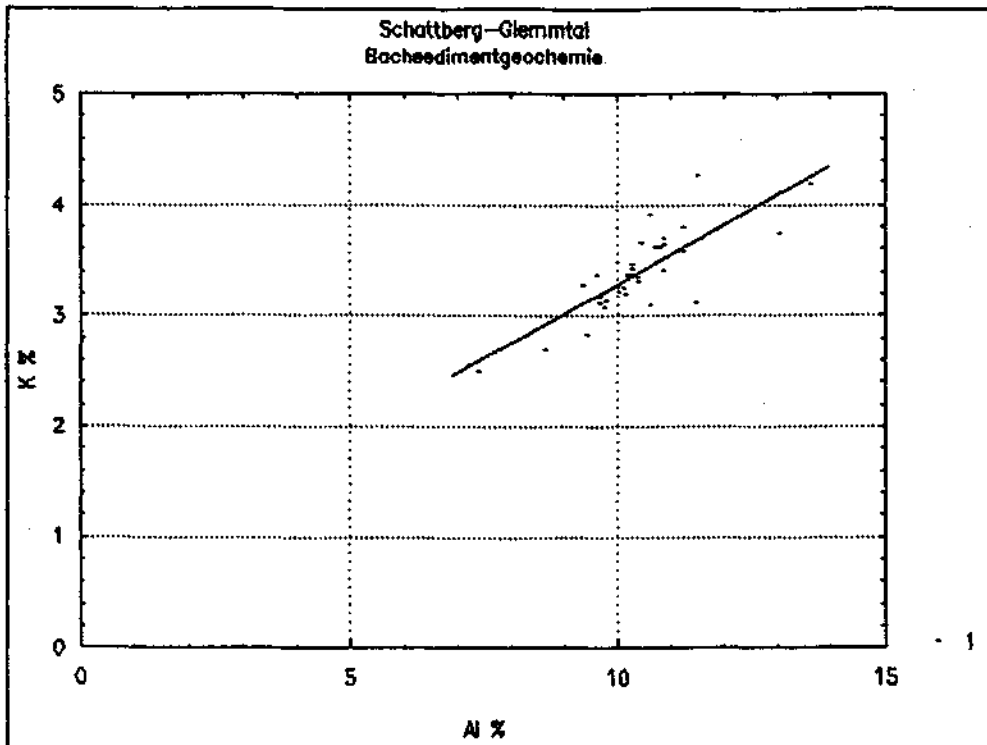


Abb.27: Verteilung und Verknüpfung von Hauptelementen in Bachsedimenten aus Einzugsgebiet Phyllite Westliche Grauwackenzone, Schattberg/Glemmtal

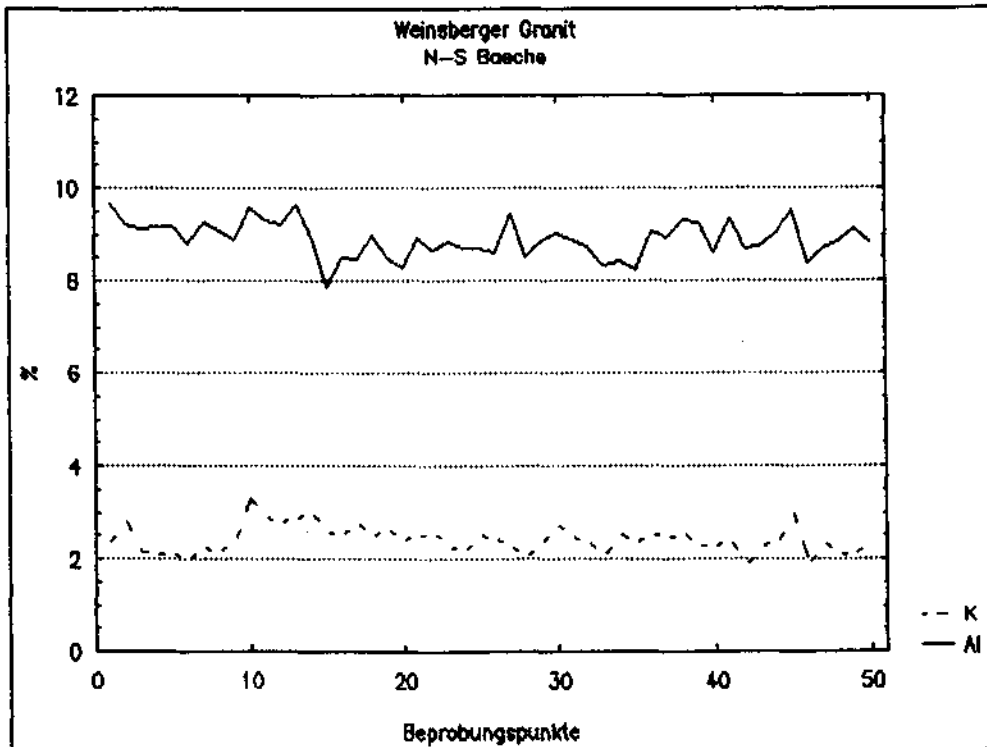
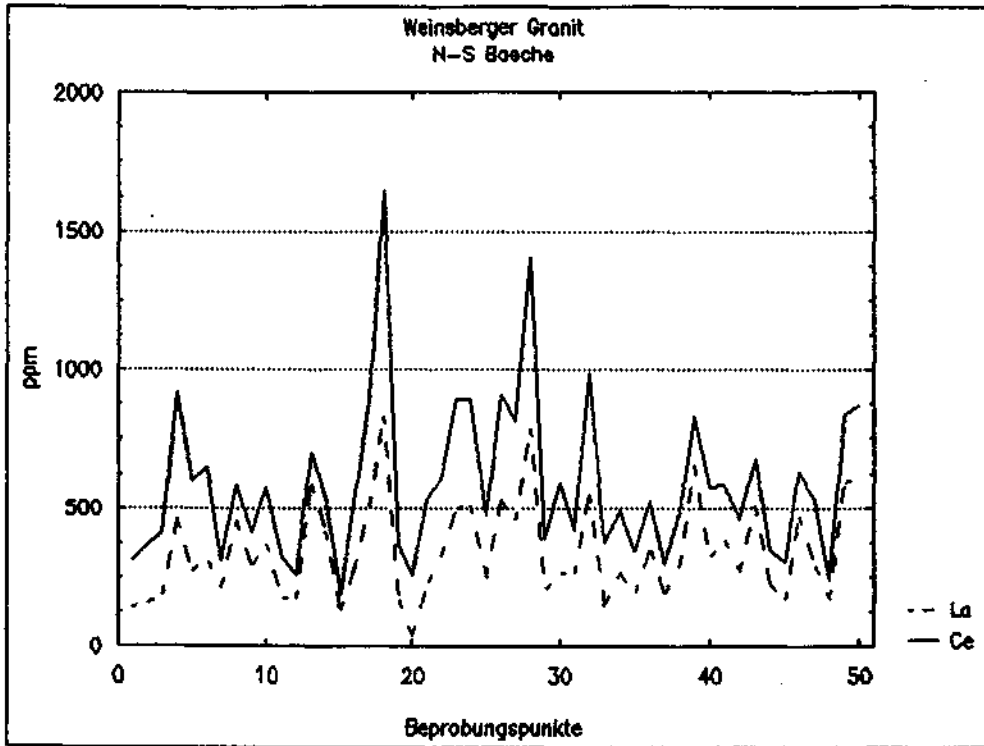


Abb.28: Elementgehalte und Verteilungen in Bachsedimenten der N-S Flüsse im westlichen Waldviertel Weinsberger Granit - Einzugsgebiete

Aus den vorhergehenden Grafiken kann z.B. abgeleitet werden:

+ der mittlere Gesteinsbackground bei den Hauptelementen in Metapelit- und Metaarenitserien der westlichen Grauwackenzone; bei Verrechnung dieser Durchschnittswerte als Oxide nähert man sich der entsprechenden Gesteinsgeochemie stark an

+ die enge positive Korrelation von Al und K verweist auf die mineralogische Bindung fast ausschließlich an den Hellglimmer- und Serizitgehalt in den Grauwackensedimenten; deshalb kann auch aus den gemeinsamen Gehaltsschwankungen auf die Verteilung des Pelit-/Arenitanteils in den Einzugsgebieten rückgeschlossen werden

+ Ca- und Mg- Anomalien weisen in diesen Serien auf die Wahrscheinlichkeit von basischen Gesteinen im Einzugsgebiet hin; diese Abweichungen sind dann meist auch direkt korrelierbar mit höheren Ni- und Cr-Werten

+ die Effekte von Sedimentaufbereitung und Transport sind z.B. sehr deutlich in Einzugsgebieten des Weinsberger Granits zu studieren, eines extrem porphyrisch ausgebildeten Gesteinstyps, wobei zusätzlich z.T. strenge Zuordnungen Element/Mineral (K - im Kalifeldspat, Ca - im Plagioklas) oder Element/Korngröße (Ce oder La im feinkörnigen Schwermineralspektrum) Interpretationslinien eröffnen

+ an Bächen in Weinsberger Granit-Arealen mit bereits höheren Sediment-Aufbereitungsgraden lassen sich diese Effekte sehr gut nachvollziehen, wie z.B. einerseits bereits ausgeglichene K-Gehalte, andererseits jedoch starke Schwankungen im Schwermineralspektrum

3.3.2. Verteilung von Hauptelementen

Unter Ausnützung oben beschriebenen Effekts, über die Gesamtgehalte von Hauptelementen in Bachsedimenten - unter gewissen zu beachtenden Einschränkungen - auf gesteinschemische Zusammensetzungen schließen zu können, wird eine breitere Anwendung und Nutzung der Daten im "Geochemischen Atlas der Republik Österreich" möglich.

- bei lithologisch-gesteinsgenetischen Fragestellungen über Elementverknüpfungen, deren Verhältnisse und deren Lagebeziehung in der Fläche Gesteinskörper zu charakterisieren, Untersuchungen gezielt anzusetzen oder Abweichungen von der Modellvorstellung angezeigt zu bekommen.

- bei der geologischen Landesaufnahme insbesondere in schlecht aufgeschlossenen Kristallingebieten
 - über bestimmte Elementgehalte oder -verhältnisse auf Verbreitung, Begrenzung, Wechsellagerung oder Änderung in den lithologischen Verhältnissen zu schließen, sowie über detailliertere Kartierungen diese Hinweise zu untermauern oder zu widerlegen.
- bei regionalen Überlegungen zum primären Nährstoffangebot für den Boden-Vegetationskomplex Gebiete mit Überangebot oder Mangel einzugrenzen und darüberhinaus prinzipiell günstige oder ungünstige Elementkonstellationen zu erkennen.

Elementverhältnisse, -werteverteilungen und deren gegenseitige Abhängigkeiten wie z.B von K/Al, K/Na, Ca/Na oder Ca/Mg unter Vergleich der jeweiligen Wertepiegel lassen etwa Rückschlüsse zu auf unterschiedliche Feldspatführung, das Vorherrschen bestimmter Minerale, die Zuordnung einzelner Elemente direkt zu einem bestimmten Mineral. Diese Informationen und Überlegungen können überleiten zur Ableitung von Verfügbarkeiten einzelner Elemente im Biokreislauf.

Beispiel:

Geringe Ca-Gehalte in Gesamtgehalten lassen noch nicht direkt auf Mangel im Angebot schließen, wichtig ist eher die Aufschließbarkeit im Verwitterungskreislauf. Hohe positive Korrelation von Ca und Na könnte schließen lassen auf Bindung an Plagioklas; positive Korrelation Ca und Mg eher die Bindung an Hornblende, Epidot u.a. Die leichte Verwitterbarkeit des Plagioklas kann dazu führen, daß durchaus auch schon bei geringem Plagioklasanteil im Gestein das Angebot an Ca für den Boden-Vegetationskreislauf ausreicht. Demgegenüber ist Ca z.B aus Grüngesteinen schwerer aufschließbar; dazu kommt in diesen Fällen, daß das sich der "Überhang" an Mg z.T. im Nährstoffhaushalt störend und antagonistisch verhalten kann.

Die Auswertung und Interpretation von Hauptelementgehalten aus Bachsedimenten kann - wenn sonst keine ausreichenden Unterlagen vorhanden sind - zu obigen Fragestellungen brauchbare Beiträge liefern. Die möglichen mineralogischen Implikationen sind dabei immer über die reinen Elementverteilungen und -pegel hinaus zu beachten!

3.3.3. Verteilung von Spurenelementen

Die Methodik der Bachsedimentgeochemie, wie sie zum "Geochemischen Atlas der Republik Österreich" geführt hat, basiert auf Entwicklungen der Mineralrohstoff-Prospektionsstrategie und wurde auch in Österreich von dieser Seite initiiert. Die von Anfang an jedoch breiter gestreuten Zielvorstellungen erforderten die Analytik eines weiteren Elementspektrums. Dadurch wird freilich nach Vorliegen aller Daten erst klar, welche Auswertungsmöglichkeiten damit angeboten werden.

+ Hinsichtlich der Anwendung und Umsetzung bei der Mineralrohstoffprospektion wird auf die einschlägige, umfangreiche - auch österreichische - Literatur verwiesen.

+ In Hinblick auf die laufenden Grenzwert- und "Critical-load"-Diskussionen stellt das Material der Bachsedimentgeochemie eine wichtige Argumentationsbasis dar. Die Spurenelementgehalte, insbesondere die der Schwermetallelemente, sind dabei aufzubereiten auf Schwerpunkte und Spannweiten ihrer Verteilungen je nach tektonisch-lithologischem Einzugsgebiet. Diese Werte bilden wiederum die Unterlage, auf die umweltgeochemische Untersuchungen an Bächen und Flüssen mit prinzipiell der gleichen Arbeitsmethode aufbauen. Die jeweiligen lokalen oder regionalen "natürlichen" Gebietsbackgroundwerte lassen darüberhinausreichende menschlich verursachte "Anomalien" erkennen und bewerten.

Beispiel:

Die Schwerpunktverteilung von Zn in Bächen der Zentralzone der Ostalpen liegt zwischen 50 und 200 ppm (THALMANN et al. 1989). Bei einer Berobung der OÖ. Flüsse auf Schwermetallgehalte (MÜLLER & WIMMER 1987) mußte an der Ager ein Maximalwert bei Zn von >33000 ppm im Sediment festgestellt werden. Nach Einmündung der Ager in die Traun steigt dort der Zn-Gehalt von 117 ppm auf >6100 ppm.

Zum Vergleich:

Die mittleren Gehalte der unteren Elbe lagen 1985 bei ca. 1800 ppm (MÜLLER 1986); der maximale Wert von Zn in der überregionalen Flußsedimentgeochemie der BRD liegt bei 13800 ppm (FAUTH et al. 1985).

Von diesen regionalen und überregionalen Extremen auf der einen Seite und den lokalen gesteinsbedingten Hintergrundwerten auf der anderen Seite ist die jeweilige Situation einzugrenzen.

+ Auch mittels der Spurenelementverteilungen sind unterstützende Aussagen zur Gesteinstypisierung möglich, wie z.B.:

- Ni/Co/Cr Gehalte können innerhalb relativ monotoner

phyllitischer Serien auf Anteile höherer Metatuffitlagen hinweisen

- Rb-Sr Verhältnisse lassen sich insbesondere bei Tiefengesteinen hinsichtlich gesteinsgenetischer Hinweise hinterfragen
- Sc/V Anomalien korrelieren fast immer mit basisch- bis ultrabasischen Gesteinsserien
- Elemente wie Ce, La, Ti oder P sind hauptsächlich mit entsprechenden Schwermineralen direkt in Verbindung zu bringen; das Schwermineralspektrum der Gesteine im Einzugsgebiet spiegelt sich damit in den Elementspektren wieder

+ Gesteinsspurenelemente sind im Bio-Geokreislauf Mikronährstoffe oder Spuren-Schadelemente.

Seitens der Geochemie wird dabei häufig auf das "Überangebot" - die Anomalien - das größere Augenmerk gerichtet, wichtiger erscheint jedoch die Auswertung und Interpretation von Mangelgebieten essentieller Mikronährstoffe. Die Datendokumentation geochemischer Analysen sollte darauf systematisch durchgearbeitet werden, wie etwa Cu-Mangel in verschiedenen Orthogneisen, u.a.

3.4. Gesteinsgeochemie

3.4.1. silikatische Serien

Auf Grund des relativ hohen Aufbereitungs- und Analysenaufwandes werden Gesteinsvollanalysen häufig nur für Spezialfragen ausgeführt; einerseits wenn spezifische Qualitätsfragestellungen für den Rohstoffeinsatz zu klären sind, andererseits im Rahmen von petrogenetischen Grundlagenstudien für gezielte Eingrenzung von Herkunft und Bildungsbedingungen. Dies dürften auch die Gründe sein, weshalb von weitverbreiteten, "durchschnittlichen" Gesteinstypen kaum entsprechend repräsentative Analysenserien aufzufinden sind.

Wenn jedoch solche Analysenserien vorhanden sind, sind sie entsprechend wertvoll und vielseitig verwertbar. Zum einen können oben angeführte Aussagen über die Umsetzbarkeit von Bachsedimentanalysen als Brücke zu gesteinsgeochemischen Analysen untermauert und abgesichert werden. Zum anderen können dann über die bekannten Durchschnittszusammensetzungen bestimmter Gesteinstypen hinaus die spezifischen - von den jeweiligen Bildungsbedingungen abhängige - und lokalen Variationen auch im Detail dargestellt werden. Diese Aussagen stellen auf der einen Seite wiederum eine Hilfe für genetische Einstufungen dar, andererseits sind sie Basis für die Darstellung des primären Elementdargebots für den Geo-Biokreislauf.

An Hand relativ monotoner Serien der westlichen Grauwackenzone, gegenübergestellt Gesteinen der Quarzphyllitzone, lassen sich einige Anwendungstrends beispielhaft darstellen:

Beide Serien sind sich lithologisch relativ ähnlich - ehemals sandig-schluffig-feinkonglomeratische Wechselfolgen nachfolgend metamorph, z.T. als flyschoid ansprechbar, altpaläozoisch, jedoch aus unterschiedlichen tektonischen Räumen. (Der ältere beschreibende und subsummierende Begriff der "Wildschönauer Schiefer" wird in den Grafiken bewußt benutzt als zusammenfassender Überbegriff!)

Obwohl die Proben nicht nach gesteinsgenetischen Gesichtspunkten entnommen wurden und zum Teil auch Durchschnittsproben über mehrere 10er Meter Mächtigkeit repräsentieren, sind sowohl interne wie regionale Variationen ablesbar (s. Abb. 29 und 30)

Neben SiO_2 (etwa dem Rest auf 100% entsprechend) stellt Al_2O_3

das bestimmende Element - aus anderen Überlegungen und Untersuchungen heraus hauptsächlich ein Maß für den Gehalt an Hellglimmer und Serizit. Die hauptsächlichliche Variation bei phyllitischen Typen (Tonschiefer) der Wildschönauerschiefer liegt beim Quarzgehalt. Die Unterschiede in den Ca/Na/K-Gehaltsverhältnissen zwischen Quarzphyllit und Wildschönauerschiefer verweisen auf die unterschiedlichen Feldspatgehalte und deren jeweiliges Plagioklas/Mikroklinverhältnis. Die Varianz in den Mg-Gehalten wird in der Hauptsache vom Chloritgehalt kontrolliert.

Gegenüber den Wildschönauerschiefern besitzen (? tektonisch gleich positionierte) Quarzphyllite eine höhere regionale Variation und reichen auch von karbonatführenden Typen zu reinen Quarziten.

Detailliertere Vergleiche innerhalb der "Wildschönauerschiefer-Serien" zwischen Metapeliten und Metaareniten erlauben ein weiter differenziertes Bild (s. Abb. 31). So liegt z.B. der Ca-Gehalt in Metaareniten im Schnitt bis zu einem Prozentpunkt höher als in Metapeliten; das heißt im größeren Korn ist der Plagioklasanteil etwas höher. Möglicherweise gleichen aber die Unterschiede im Verwitterungsverhalten die Angebotsvorteile wieder aus.

Dem gegenüber sind freilich die Gesamtgehalte an Ca in Diabasen ungleich höher, was sich dann in den entsprechenden Bodenbildungen direkt auswirkt.

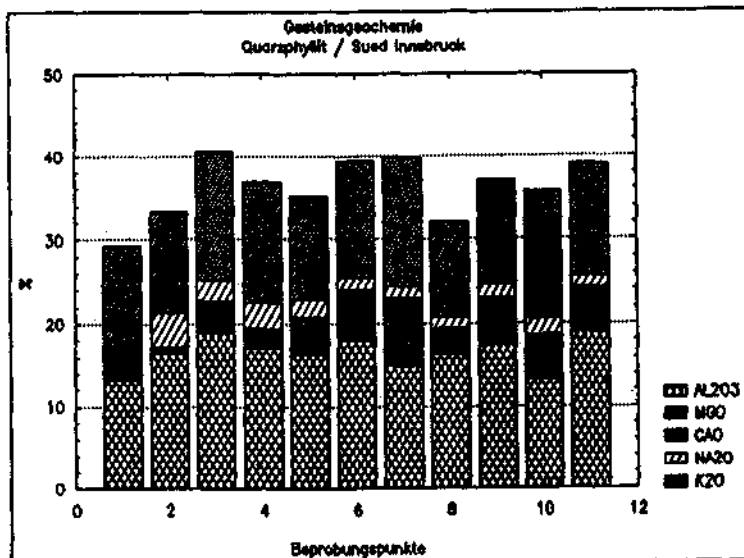
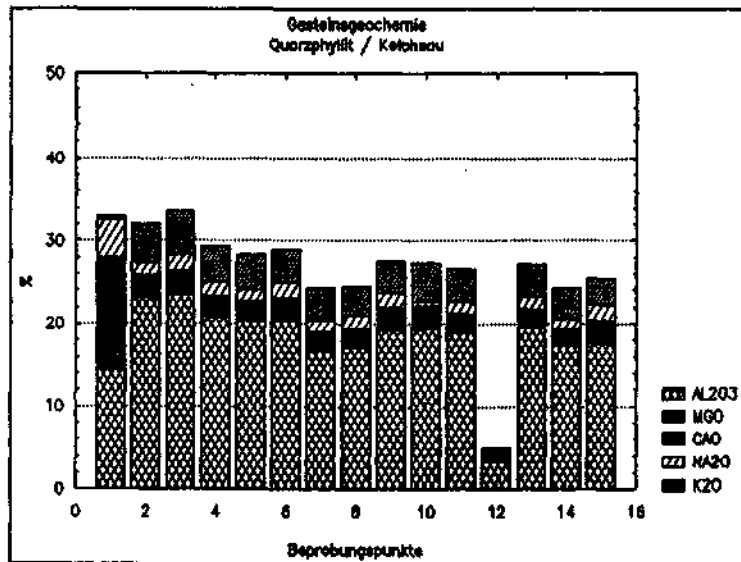
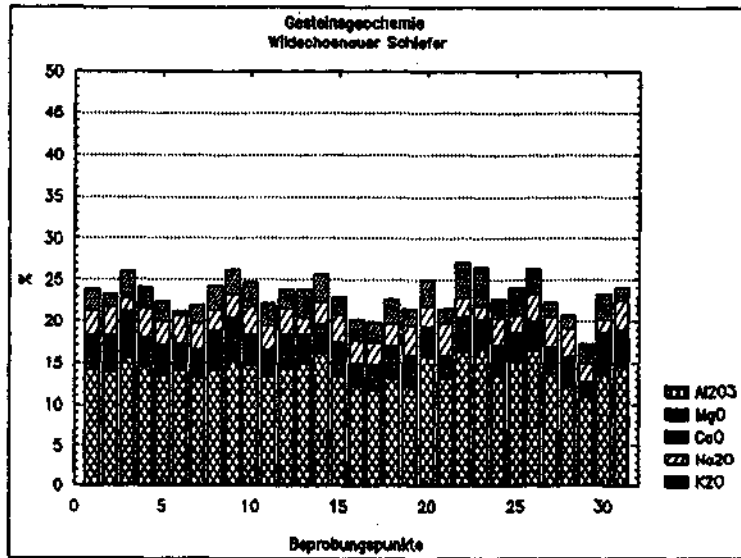


Abb.29: Vergleich von Hauptelementgehalten zwischen Wildschönauerschiefer und Innsbrucker Quarzphyllit

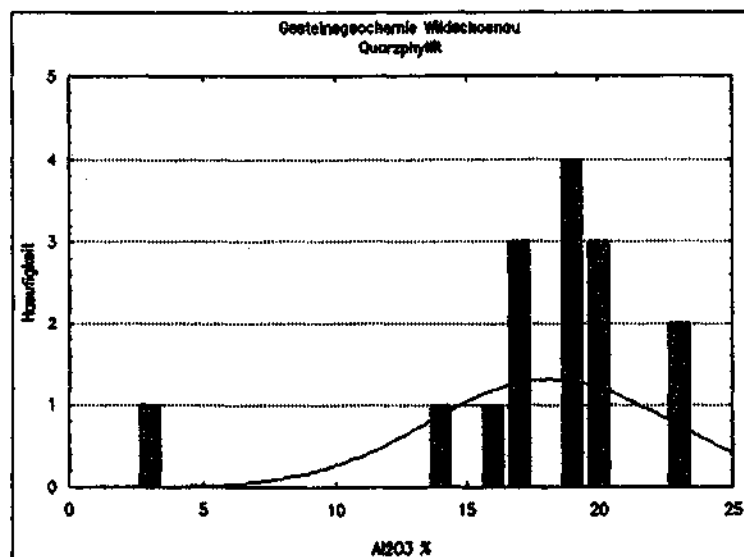
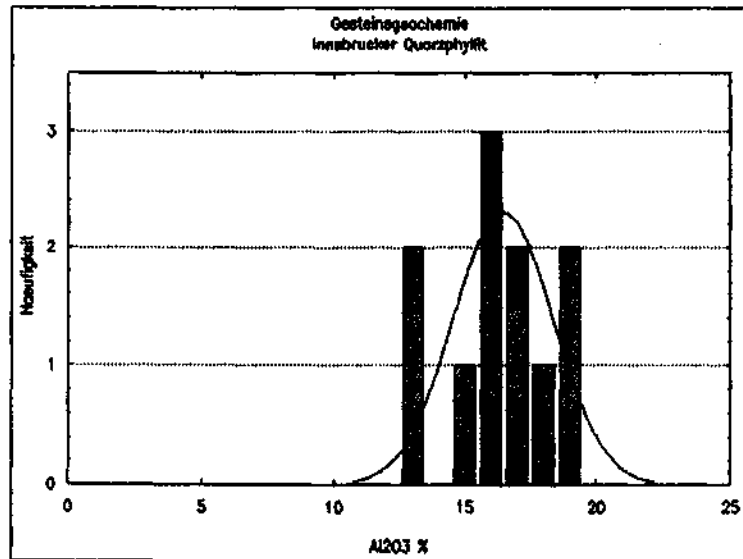
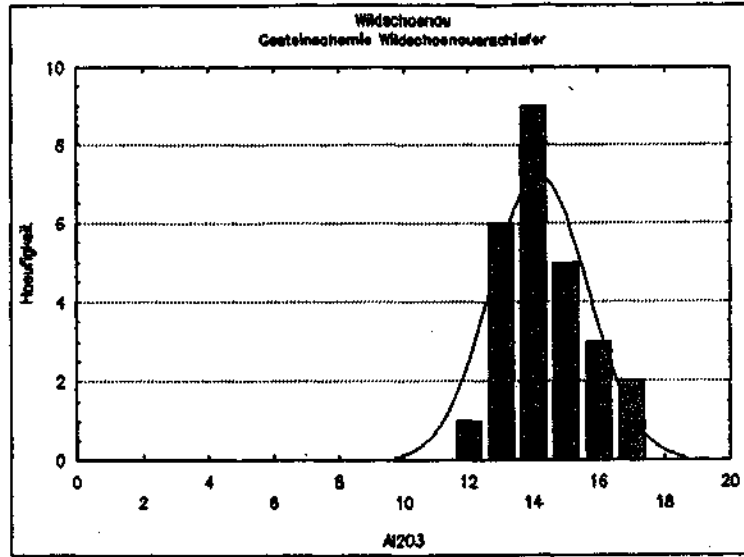


Abb.30: Vergleich von Al₂O₃-Gehaltshäufigkeiten in Wildschönauerschiefer und Innsbrucker Quarzphyllit

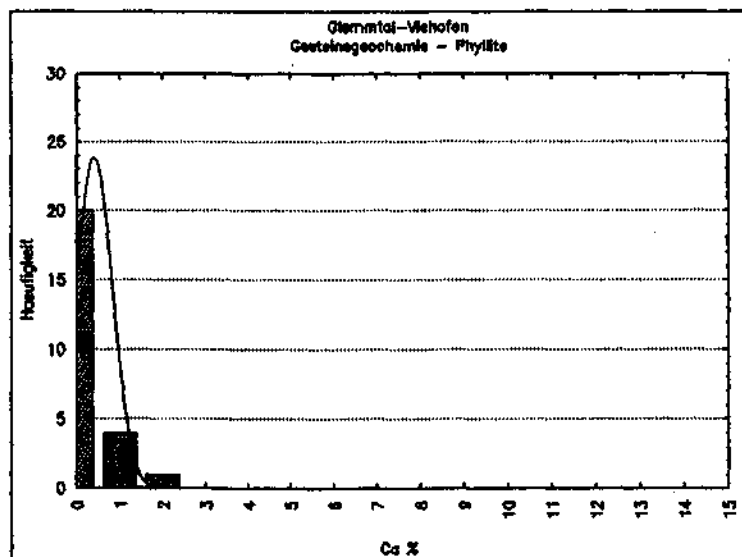
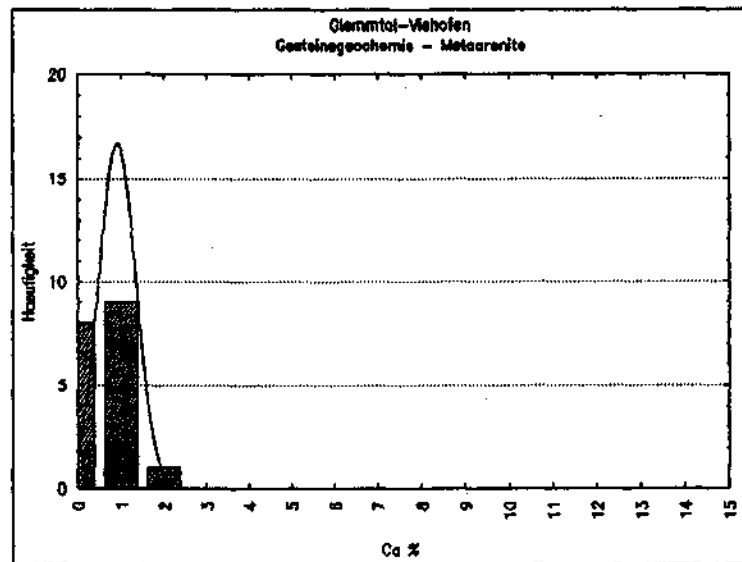
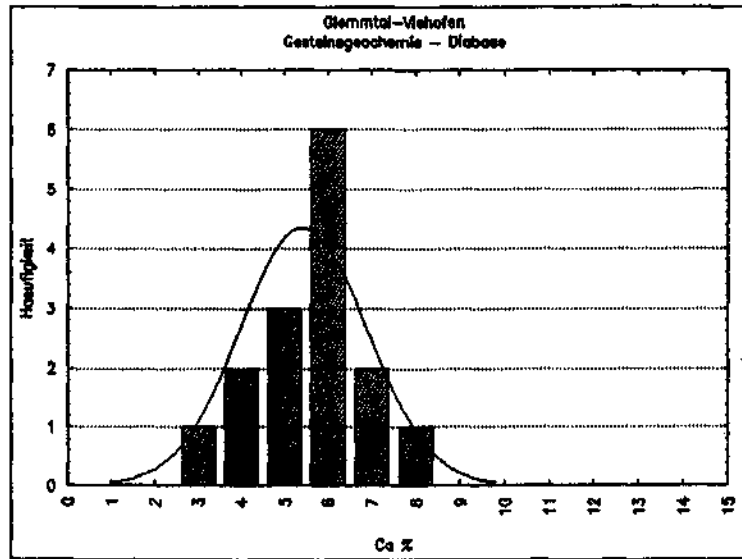


Abb.31: Vergleiche von Ca-Gehaltshäufigkeiten in verschiedenen Gesteinstypen der Wildschönauer Schiefer

3.4.2. karbonatische Serien

Für karbonatische Gesteine und Serien sind die Bildungsbedingungen - die Fazies - ausschlaggebend für ihre Zusammensetzung. Stabilität des Milieu (Fazies) führt zu Stabilität der Qualität (Zusammensetzung); Faziesänderungen führen auch zu Qualitätsänderungen, im Gegensatz zu klastischen Sedimenten, bei denen Faziesänderungen (z.B. Änderungen der Transportbedingungen) meist zur Korngrößenverschiebungen, jedoch bei gleichbleibendem Liefergebiet häufig nicht zu Zusammensetzungsänderungen führen.

Wenn moderne und detaillierte Bildungsmilieu- und Faziesstudien vorliegen, ist es meist möglich, Aussagen über Variation oder Stabilität der Zusammensetzung einzelner Schichtglieder machen zu können. Bei manchen Gesteinstypen wird dies sogar möglich überregional über die Gesamtverbreitung in den Ostalpen. Wichtig ist dabei, zu erkennen, inwieweit die Bildungsbedingungen in Raum und Zeit gleich geblieben sind.

Z.B. Dolomite:

- Fall a. Die Dolomitisierung erfolgt synsedimentär oder paradiagenetisch in Seichtwassermilieu bei lange Zeit gleichbleibender Sättigungs- und Temperaturstabilität, von Land aus werden keine Sedimente eingetrifft.

Das Ergebnis ist vertikal und lateral sowie lithologisch/geochemisch ein sehr einheitliches Sediment.

- Fall b. Die Dolomitisierung ergreift sekundär einen Kalkriffstock. Die Umwandlung hängt stark einerseits vom Konzentrations- und Mengenangebot der Lösungen, andererseits von der Wegsamkeit des Substrats ab.

Das Ergebnis wird eher eine meist unregelmäßige, z.T.vollständige oder unvollständige Umwandlung sein mit Übergangspartien Kalk/Dolomit.

Für weite Teile der ostalpinen Karbonatgebiete liegen solche Faziesstudien vor; zumindest werden daraus Analogieschlüsse entlang ihrer streichenden Verbreitung meist ableitbar sein. In vielen Fällen sind diese Studien zusätzlich auch durch gesteinschemische Analytik untermauert.

Darüberhinaus wurden und werden laufend im Zuge von Qualitätsuntersuchungen für Mineralrohstoffverwertung Analysen angefertigt. Ein größerer Teil davon ist auch öffentlich zugänglich über Forschungsberichts-Dokumentationen.

Im Folgenden werden zwei Beispiele herausgegriffen und grafisch dargestellt (Abb.32-33).

+ Eine Fülle von Untersuchungen und Analysen belegen für den Hauptdolomit - als Seichtwassersediment mit sehr gleichbleibenden Bildungsbedingungen - einen sehr hohen Reinheitsgrad mit CaO/MgO-Verhältnissen nahe am stöchiometrischen Verhältnis von 1.39:1, und dies über die gesamte Ost-West-Erstreckung vom Wienerwald zum Rätikon. Verunreinigungen können resultieren aus randlichen terrigenen Beeinflussungen, die sich dann in etwas erhöhten SiO₂ und/oder Al₂O₃ - Gehalten manifestieren, häufig im Hangenden der Hauptdolomitserie oder gegen den faziellen Rand. Dolomite aus Riffstöcken (z.B. Wettersteindolomit) besitzen meist höhere Spannweiten bei ihren CaO/MgO-Verhältnissen, terrigene Einschwemmungen sind dagegen eher untergeordnet.

+ In Zeiten höherer Bodenunruhe während des Bildungszeitraumes belegen rasche, z.T. plötzliche, z.T. durch Übergänge belegte Änderungen der Gesteinszusammensetzung die jeweilige Milieu-Umstellungen. Die Ergebnisse sind dann rasche Übergänge z.B. von Reinkalk über Mergel zu Tonen oder Sandsteinen, oder rascher Wechsel von Dolomit zu Kalk, wie in den Raiblerschichten.

+ Unbeeinflusst gebliebene Kalkriffe können ihre Rein- bis Hochreinkalkqualitäten zum Teil erhalten, wie am Beispiel Sulzfluhkalk gezeigt. Nur einige cm- bis dm- mächtige Bänder in einer mehrhundertmeter mächtigen Abfolge weisen auf terrigene Beeinflußung hin.

An Hand dieser Beispiele kann schon gezeigt werden, inwieweit Informationen aus dem Wissen über Bildungsbedingungen und Milieu karbonatischer Gesteinsserien für andere Zwecke abgeleitet werden können.

Abgesehen von ihrer Bedeutung in der Rohstoffsicherung verweisen gerade die Extremtypen wie Reindolomite und Reinkalke auf die Problematik des Nährstoffangebots und des Nährstoffhaushalts. Entweder es steht nur ein Hauptelement (Ca) zur Verfügung oder ein Überangebot von zwei Elementen konkurrenziert sich und weitere essentielle Nährstoffelemente.

Darüberhinaus führt der fehlende Anteil an Elementen und deren entsprechenden Mineralen (z.B. Tonminerale) zu einem Defizit beim jeweiligen Puffer- und Adsorptionsvermögen.

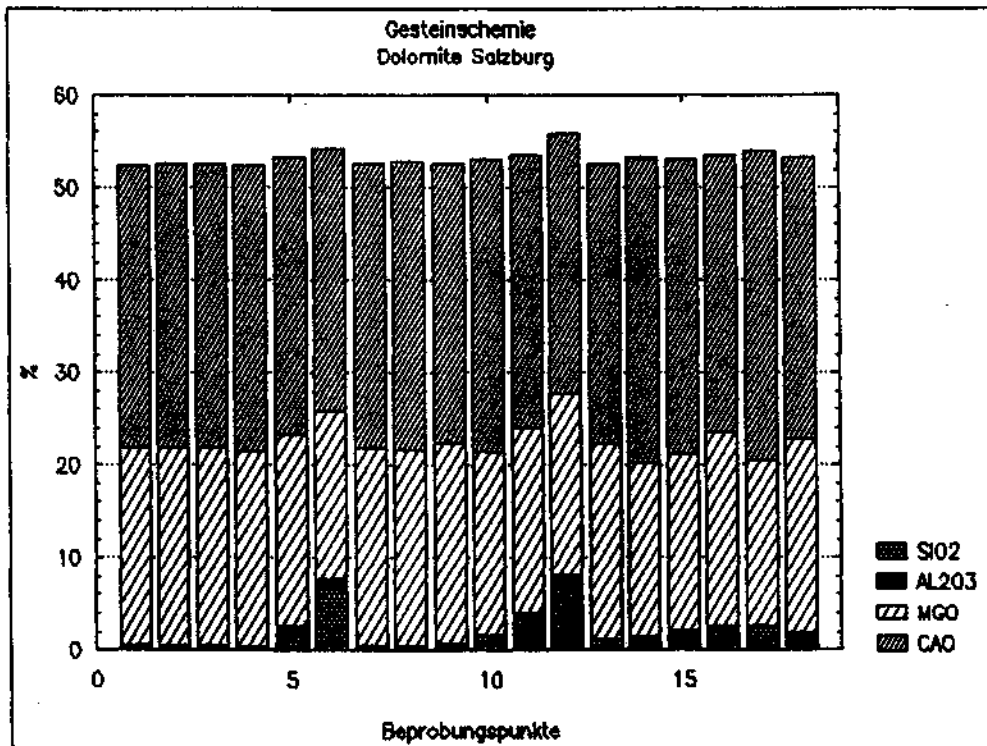
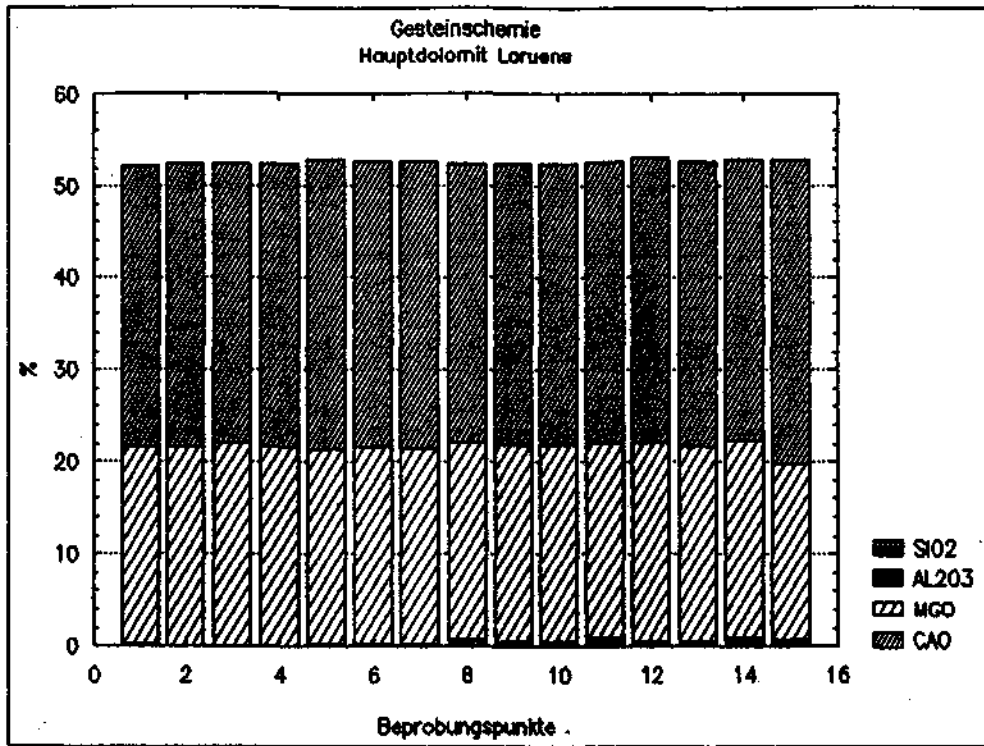


Abb.32: Hauptelementgehalte in Dolomiten der Nördlichen Kalkalpen Salzburgs und Vorarlbergs

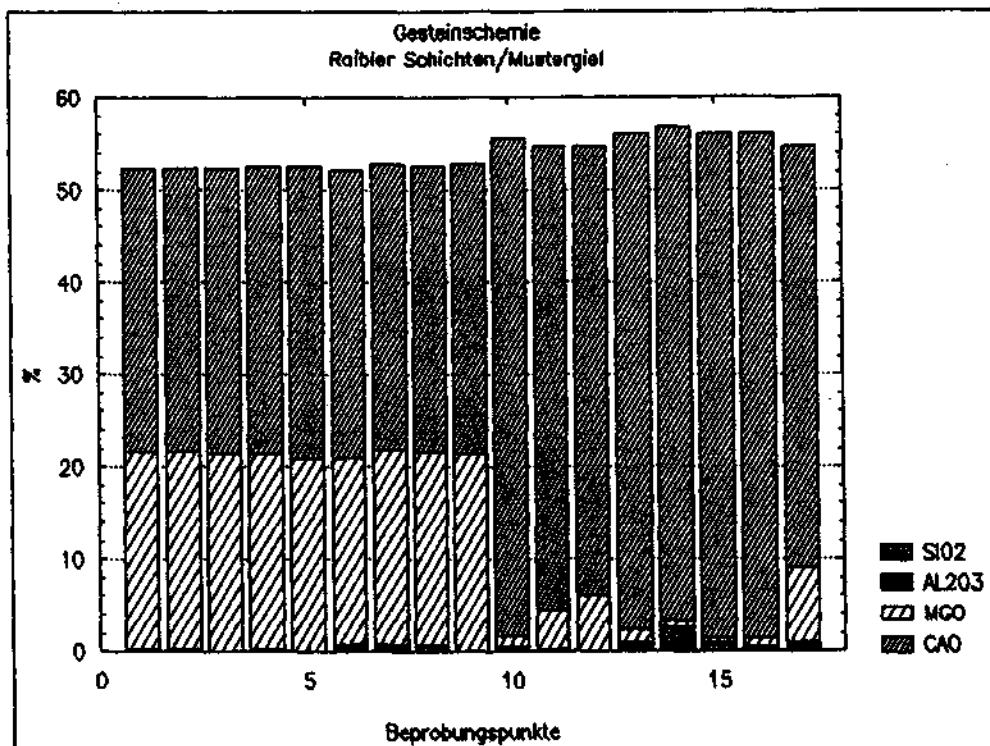
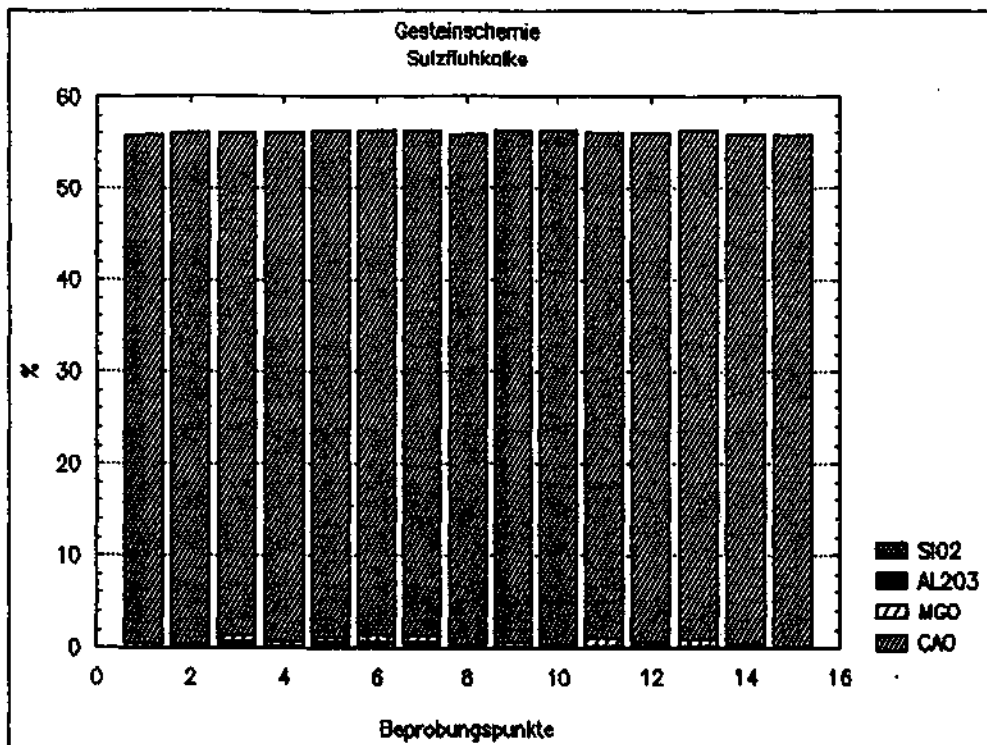


Abb.33: Hauptelementgehalte in Raiblerschicht-Gesteinsserien und Sulzfluhkalk, Rätikon

4. INTERPRETATIONSMÖGLICHKEITEN UND VERKNÜPFBARKEIT - GEBIETSSPEZIFISCHE BEISPIELE

4.1. Westliche Grauwackenzone

Im Zusammenhang mit den Zielen des vorliegenden Projekts sind zwei Problemkreise

die geologische Situation und
die aktuelle Nutzungsstruktur
anzusprechen und es ist zu fragen, welche Hilfestellungen
geochemische Daten zu Problemlösungen beitragen können.

In der Westlichen Grauwackenzone herrschen lithologisch relativ monotone Verhältnisse - mächtige tonig-schluffig-sandig-feinkonglomeratische Serien mit flyschoidem Charakter leicht metamorph in Wechselbeziehung mit einem basischen Vulkanismus und dessen Gesteinsserien (Diabase, Tuffe, Tuffite), untergeordnet und regional abgrenzbar auch karbonatische Serien (z.T.mächtigere Dolomitstöcke).

Dieser geologischen Situation ist die dichte und intensiv verflochtene Nutzungsstruktur gegenüberzustellen, die einerseits die Vorteile der geologisch-morphologischen Formung ausnützen kann, andererseits immer mit der Neigung des Gesteinsuntergrundes zu Massenbewegungen zu kämpfen hatte und hat.

Von geochemischen Daten in Verknüpfung mit weitergehendem geowissenschaftlichen Wissen sind Beiträge möglich zu:

- Nährstoffhaushalt im Boden-Vegetationskomplex
- primäre Schwermetallverteilungen und deren Verfügbarkeit
- Zusammenhang Bodenzustand/qualitativer Wasserhaushalt

Für den Bereich der westlichen Grauwackenzone besteht dabei eine relativ breite Datenbasis:

- gesteinsgeochemische Analysen größerer Zahl auch für weitverbreitete "Durchschnittstypen"
- flächendeckend Bachsedimentgeochemie, z.T. mit Kontrollbeprobungen und -analytik
- bodengeochemische Untersuchungen und Analytik in verschiedenen Bereichen mit unterschiedlicher Beprobungsdichte, z.T. auch unter Einsatz fraktionierter Analytik
- hydrochemische Daten mit Mehrfachwiederholungen

Mehrfach wurde in Vorkapiteln bereits die Möglichkeit, aus gesteins- und bachsedimentgeochemischen Daten, ihrer Verknüpfung und gegenseitigen Kontrolle sehr weitgehende Schlüsse auf das primäre Elementangebot (hinsichtlich Nährstoffe und Spuren) zu ziehen. Das Wissen über die Vergleichbarkeit verschiedener geologischer Serien und das Vorliegen moderner kartenmäßiger Dokumentationen (im Manuskript) erleichtert in diesem Fall analoge Auswertungen und Interpretationen mit regionaler flächenhafter Aussagesicherheit (s.auch die entsprechenden Grafiken in den Kap.3.3.1. bis 3.3.3. und 3.4.1.).

Einem relativ höheren Wertegehaltpegel von K und Mg steht ein sehr niedriger Pegel von Ca im prinzipiellen natürlichen Angebot in den weitverbreiteten Metapeliten und Metaareniten - den Hauptgesteinen der "Wildschönauerschiefer" - gegenüber. Die statistische Aufbereitung der Daten (Häufigkeitsverteilungen, Scattergramme) einerseits und die Aussagen mineralogischer Analysen andererseits, verweisen auf die enge Bindung von Al und K, sowie die gegenseitige Unabhängigkeit von Na, K, Ca und Mg. Somit ergibt sich folgende Verknüpfung der Mineralzusammensetzung und des Elementgehaltes

- Al, K	Hellglimmer, Serizit
- Mg	Chlorit
- Na, Ca	Feldspäte, hauptsächlich Plagioklas.

Daraus kann wiederum auf die Aufschließbarkeit im chemisch-physikalischen Verwitterungskreislauf geschlossen werden, wobei dann etwa die Linie Plagioklas (Albit) > Chlorit > Serizit anzunehmen wäre. In weiterer Folge ergibt sich daraus der Effekt, daß Ca meist rasch und ausreichend und nicht nach seinem primären Angebotsverhältnis im Böden auf silikatischen Tonschiefern und Sandsteinen der Grauwackenzone zur Verfügung gestellt wird.

Korrelierte höhere Wertepaare von Mg und Ca sowohl in gesteins- als auch in bachsedimentgeochemischen Analysen deuten auf Tuff- oder Tuffitgesteinsserien hin; meist dient diese Information auch zur Unterstützung der geologischen Kartierung und Gesteinsgliederung in schlechter aufgeschlossenen Gebieten.

Trotz der großen Dichte von Vererzungen in der Grauwackenzone sind auf weiten Strecken und Gebieten Schwermetallgehalte im Backgroundbereich festzustellen;

z.B. Pb	20-50 ppm
Zn	80-100 ppm
Cu	um 20 ppm

Pb und Zn sind meist miteinander korreliert, ihr Auftreten steht jedoch nicht direkt in Zusammenhang mit basischen Vulkaniten; der häufige Konnex zwischen Cu und Ni läßt auf eine Bindung von Cu-Mineralisationen mit Gesteinen der basischen Vulkanitserien schließen. Diese Zusammenhänge dürften im regionalen Maßstab etwa gelten; zu bedenken ist, daß im näheren Umkreis von ausgedehnteren Vererzungen und alten Bergbaugebieten Schwermetallelementanomalien anderer Charakteristik erwartet werden müssen und durch Transport und anderweitige Verwendung

von Haldenmaterial auch verschleppt auftreten können. Bei der Beachtung und Herausarbeitung der "Grundmuster" ist es freilich dann möglich, abweichende Muster zu erkennen (Abb.34-37).

Auch zum Fragenkomplex der Mobilisierbarkeit und Verfügbarkeit dieses Schwermetallangebotes liegt eine Fülle von Diskussionsmaterial vor.

a. eine Studie über Zusammenhänge von Elementgehalten in Bachsedimenten und der jeweils zugehörigen Gehalte im Wasser (dokumentiert in PIRKL 1984), die klar die Abhängigkeit von Löslichkeit und Mobilität herausarbeitet (Abb.38).

b. Auswertungen der Schwermetallgehalte im mineralischen Unterboden nach Nutzungsart, Vegetationsstandort und pH (Wildschönau - Alpbachtal, Oberpinzgau östlich Mittersill) mit dem Ergebnis klarer Trends und Abhängigkeiten (Abb.39-40).

c. Ergebnisse fraktionierter Analytik an Bodenproben aus dem Bereich Saalbach (dokumentiert in PIRKL 1991), die insbesondere die kleinräumigen Auswirkungen von Standortbedingungen und Bodenentwicklungen nachvollziehen lassen bei fast gleicher geologisch-lithologischer Ausgangslage (Abb.41-42).

Exposition, Standortbedingungen und Nutzungsstruktur wirken sich in weiterer Folge in komplexer Verknüpfung auf den jeweiligen Bodenzustand aus. Als Indikatoren für Zustand und Zustandsänderungen können die Ionenkombinationen in Bodenlösung und am Austauschkomplex herangezogen werden. Die jeweiligen Ionenkombinationen und die jeweils sich ändernden Gleichgewichte spiegeln sich im Austrag qualitativ wieder. Ionenkombinationen in Quellwässern können deshalb, wenn sie einzugsgebietsmäßig zuordenbar sind, indirekt Indikator für Bodenzustände darstellen (Abb.43 und entsprechende Grafiken in 3.1.1.); dieser Problemkomplex wurde in PIRKL 1991 ausführlich diskutiert.

Konkret ist es somit möglich, zahlreiche Ergänzungen, Anregungen und Diskussionsbeiträge in die laufenden Untersuchungen und Monitoring-Systeme wie Tiroler Bodenzustandsaufnahme (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 1988) oder Österreichische Waldbodenzustandsinventur (ENGLISCH et.al.1991) im Grenzgebiet Nordtirol/Salzburg (Bezirke Wörgl, Kitzbühel, Zell a.S.) einzubringen, sowie Umweltkartierungen wie z.B. Eingrenzung der Auswirkungen alter Bergbaue, qualitative Aufnahmen für den Trinkwasserschutz oder die Gewässergüte u.a.zu unterstützen.

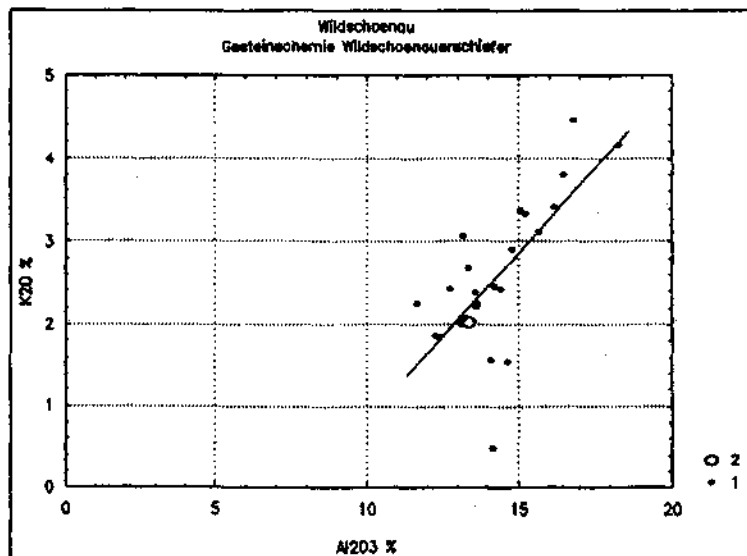
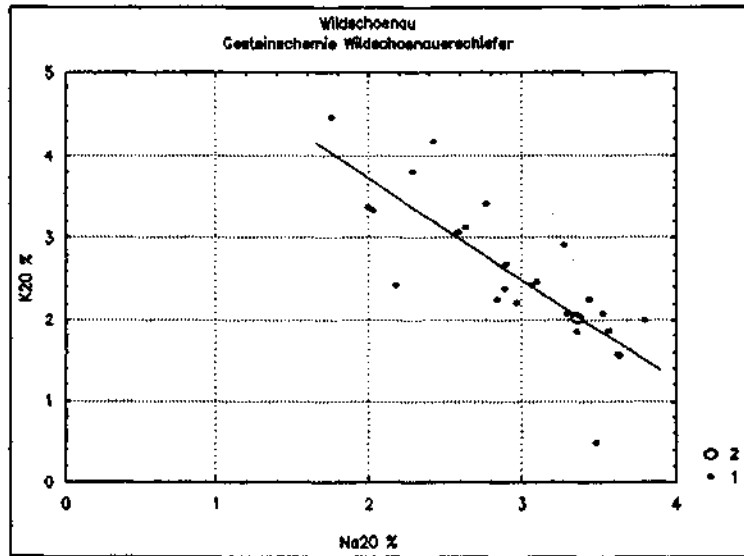
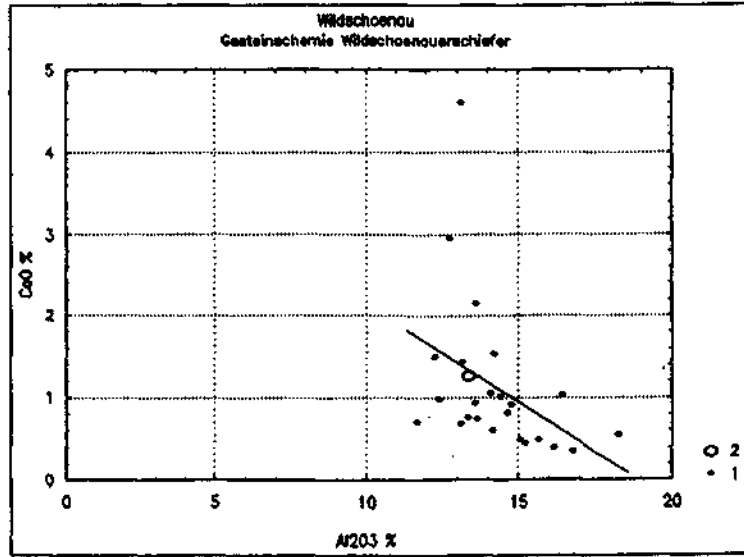


Abb.34: Scatterplots von Hauptelementverhältnissen aus Gesteinsanalysen an Wildschönauer Schiefer

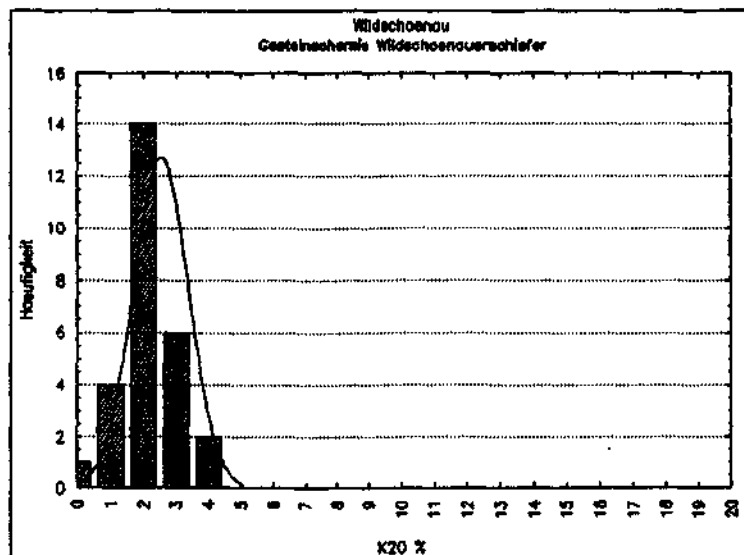
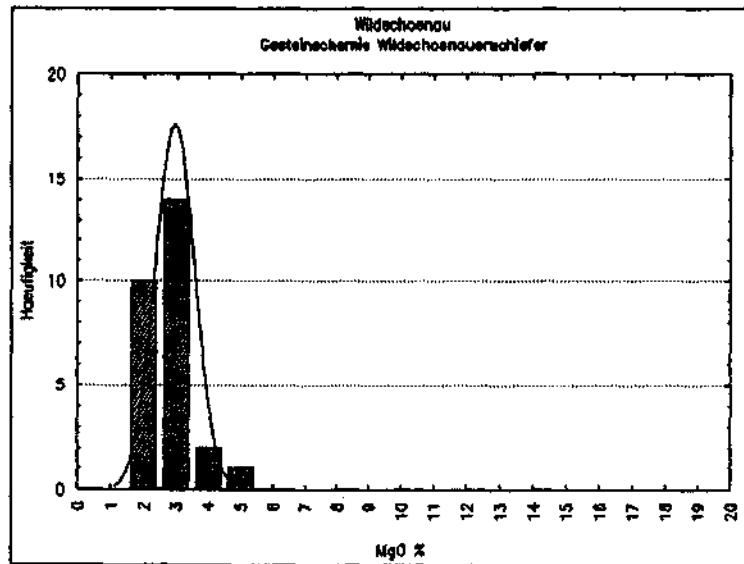
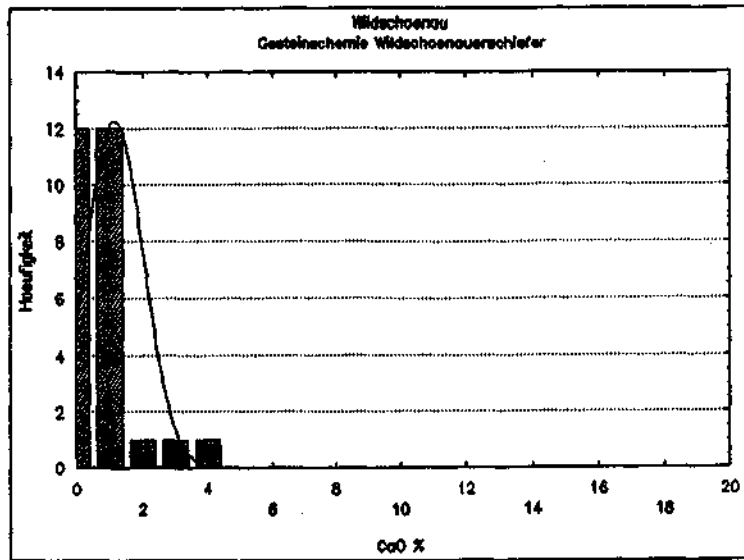


Abb.35: Häufigkeitsverteilungen von Hauptelementgehalten aus Gesteinsanalysen an Wildschönauer Schiefer

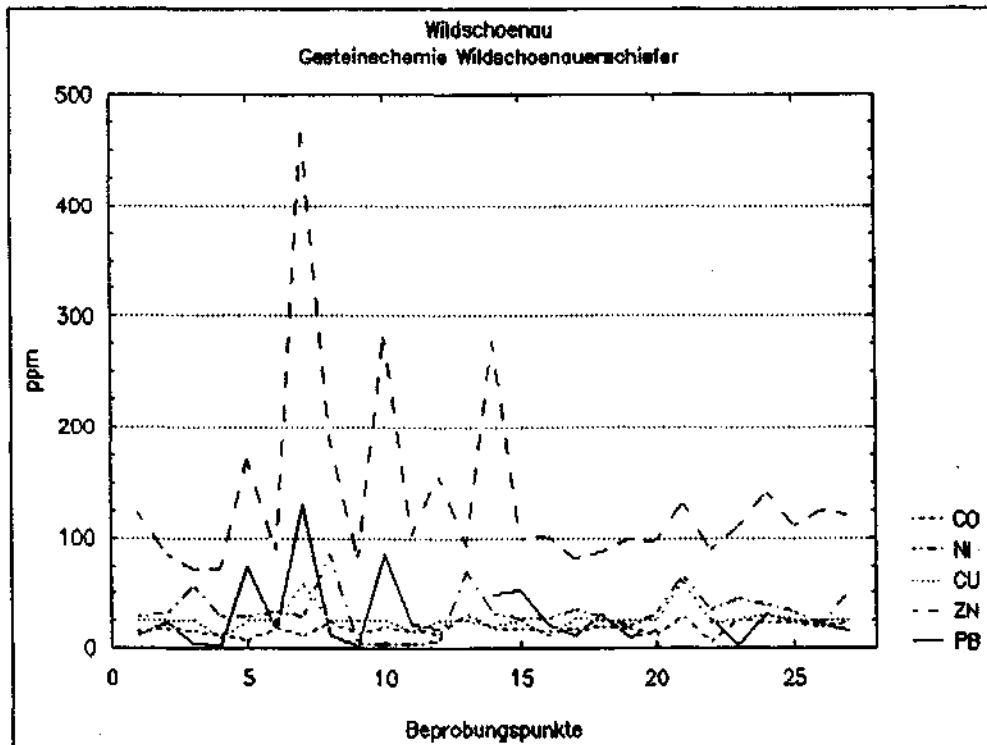
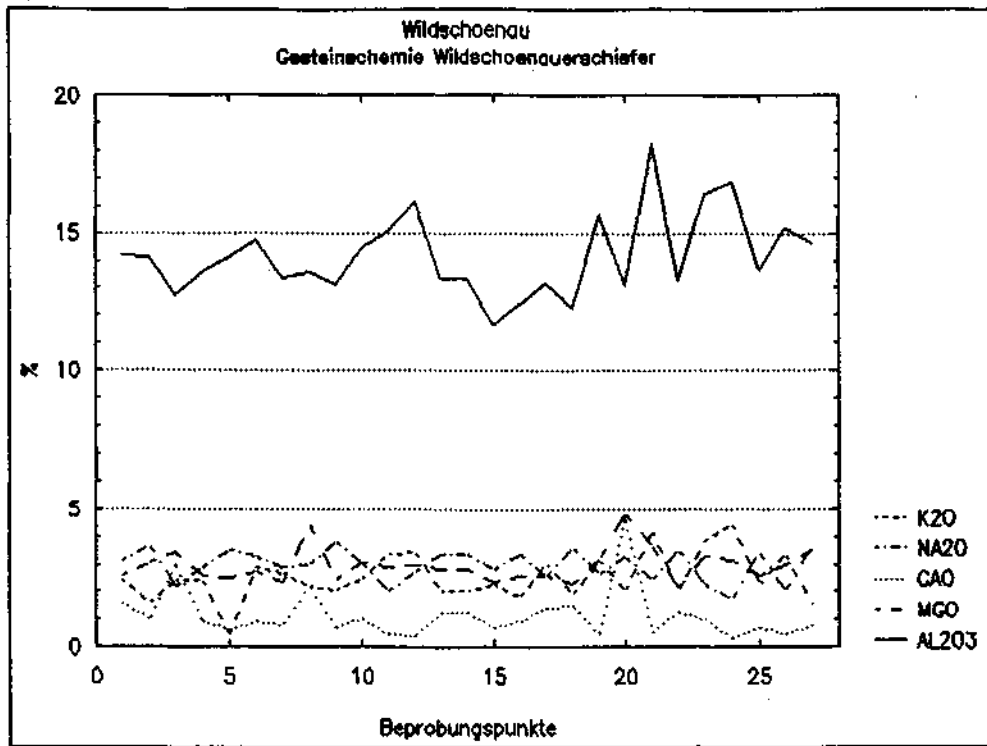


Abb.36: Verteilung von Haupt- und Schwermetallelementen nach Probestellen in Wildschönauer Schiefer

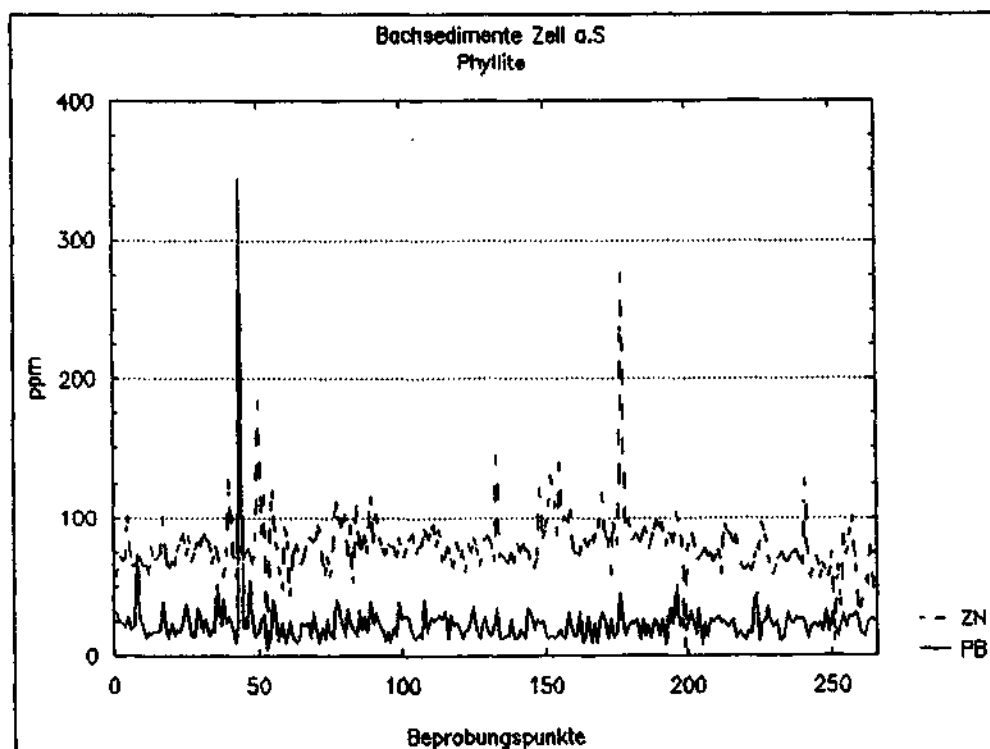
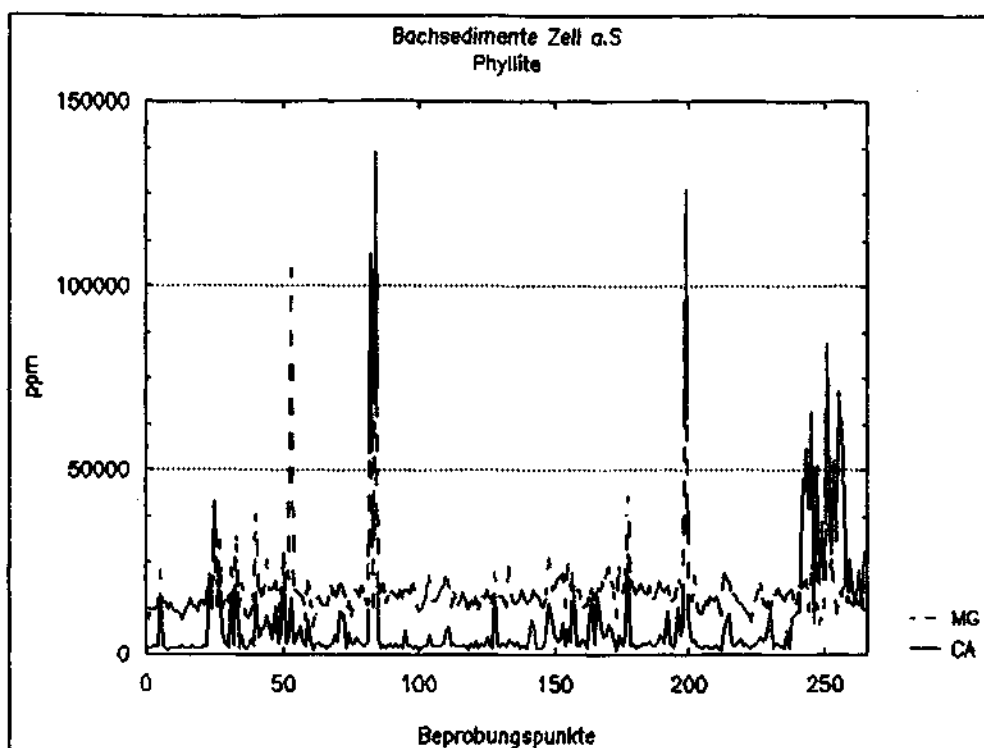


Abb.37: Ca, Mg, Zn und Pb Gehalte nach Probestpunkten in Bachsedimenten auf Blatt Zell.a.S, Einzugsgebiete Wildschönauer Schiefer

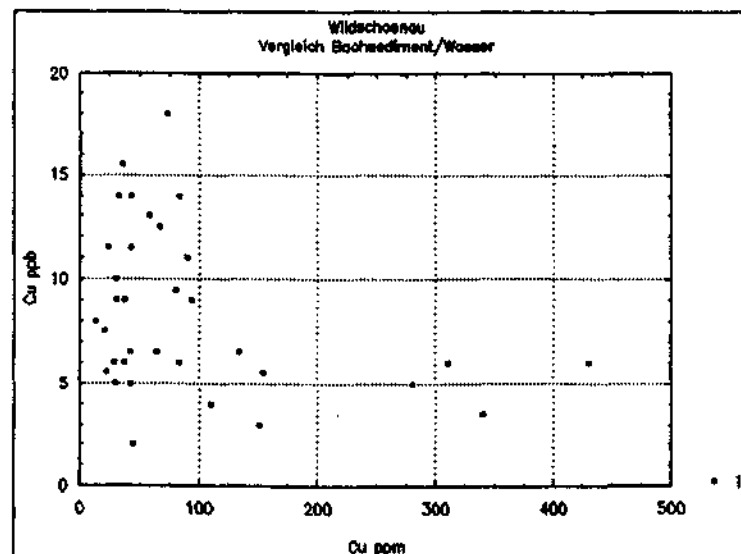
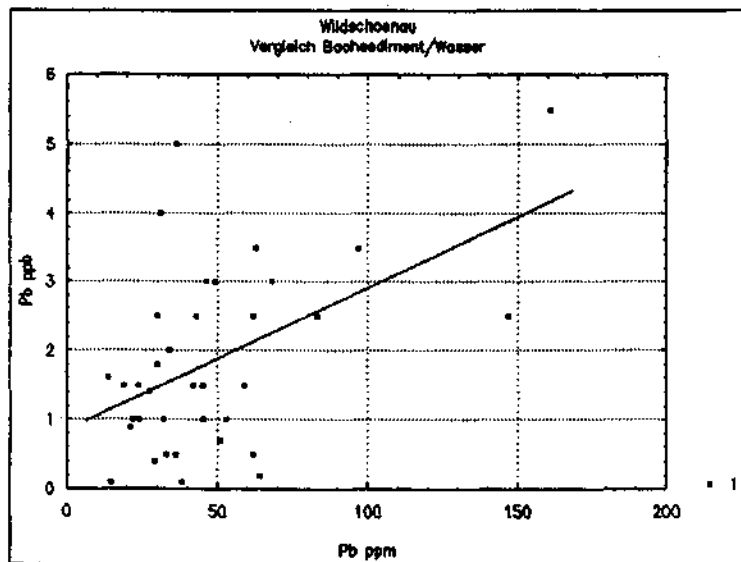
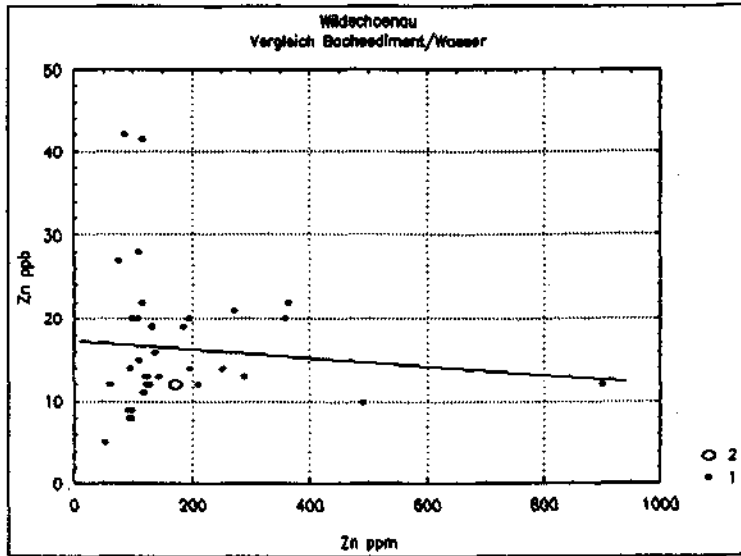


Abb.38: Vergleiche von Elementgehalten in Bachsedimenten und Wässern jeweils jeweils gleicher Probepunkte, Einzugsgebiete Wildschönauer Schiefer

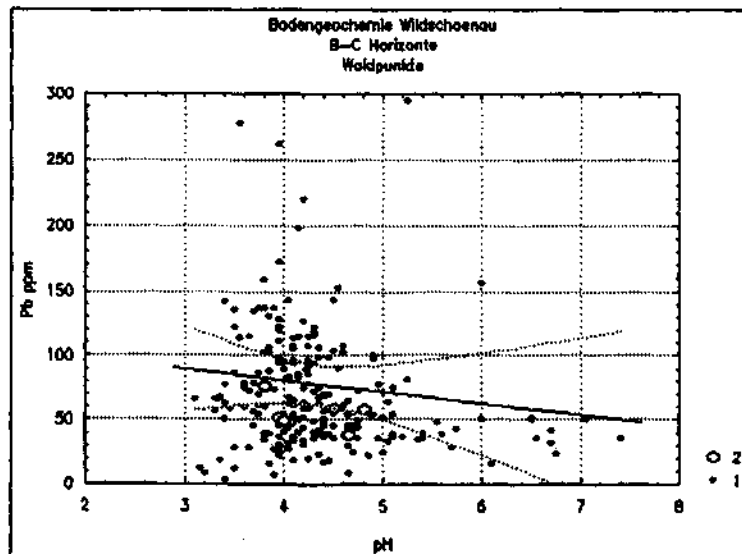
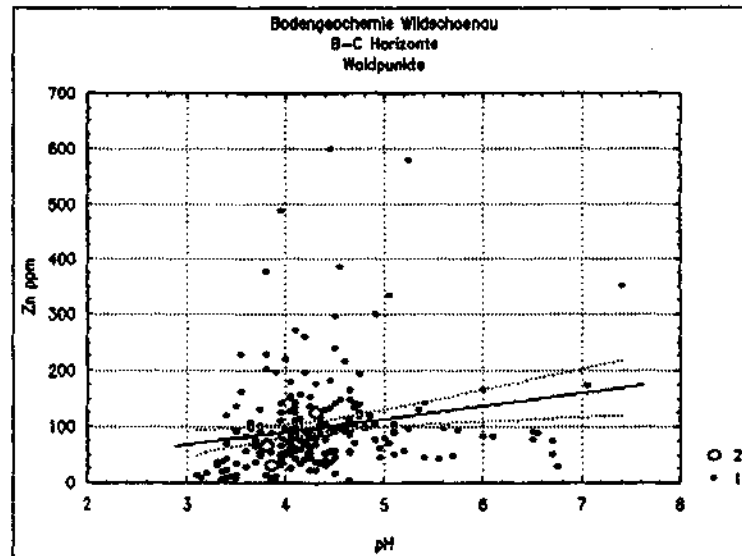
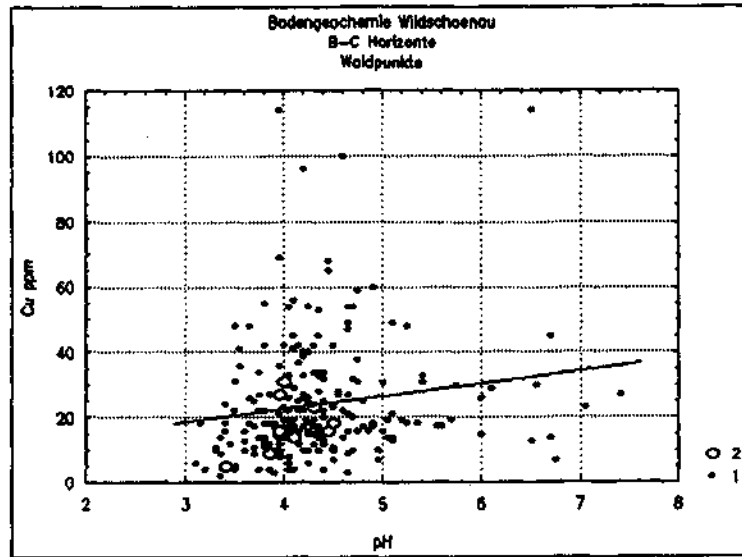


Abb.39: pH-Wert Abhängigkeit von Pb, Zn, Cu - Gehalten im Unterboden über Wildschönauer Schiefer

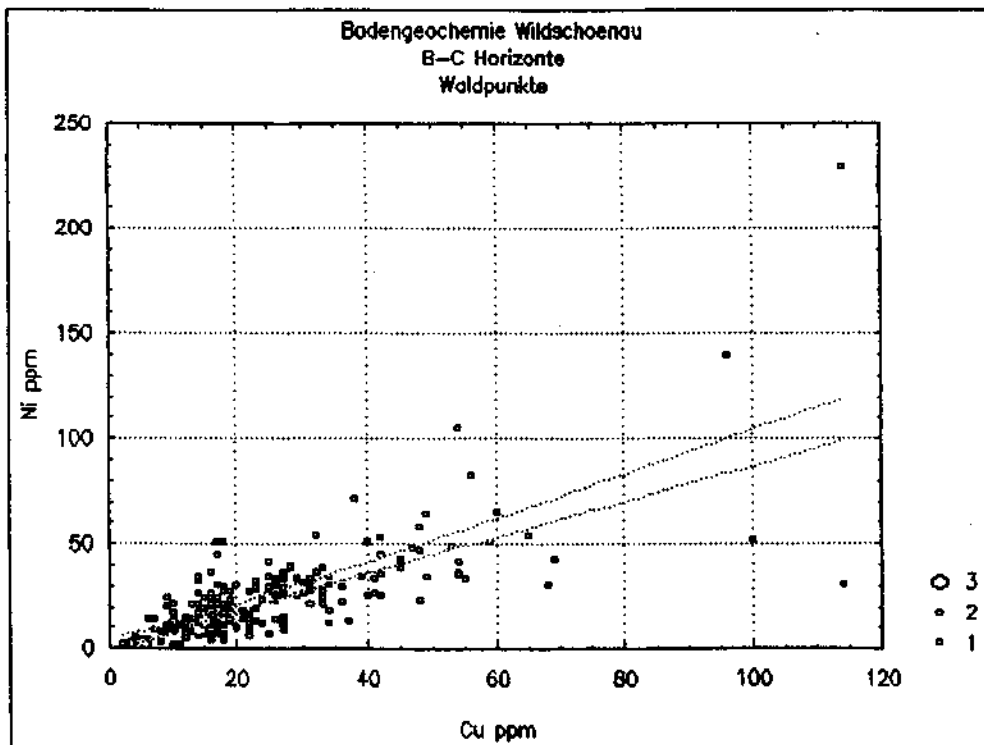
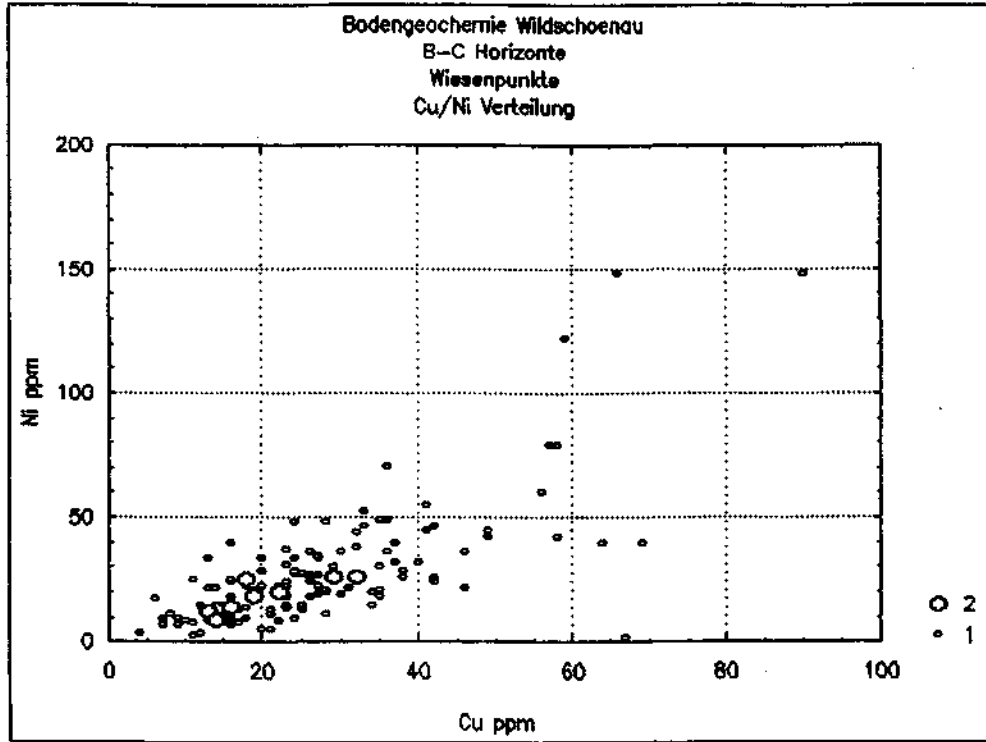


Abb.40: Korrelation von Cu/Ni - Gehaltsverteilungen im Unterboden über Wildschönauer Schiefer

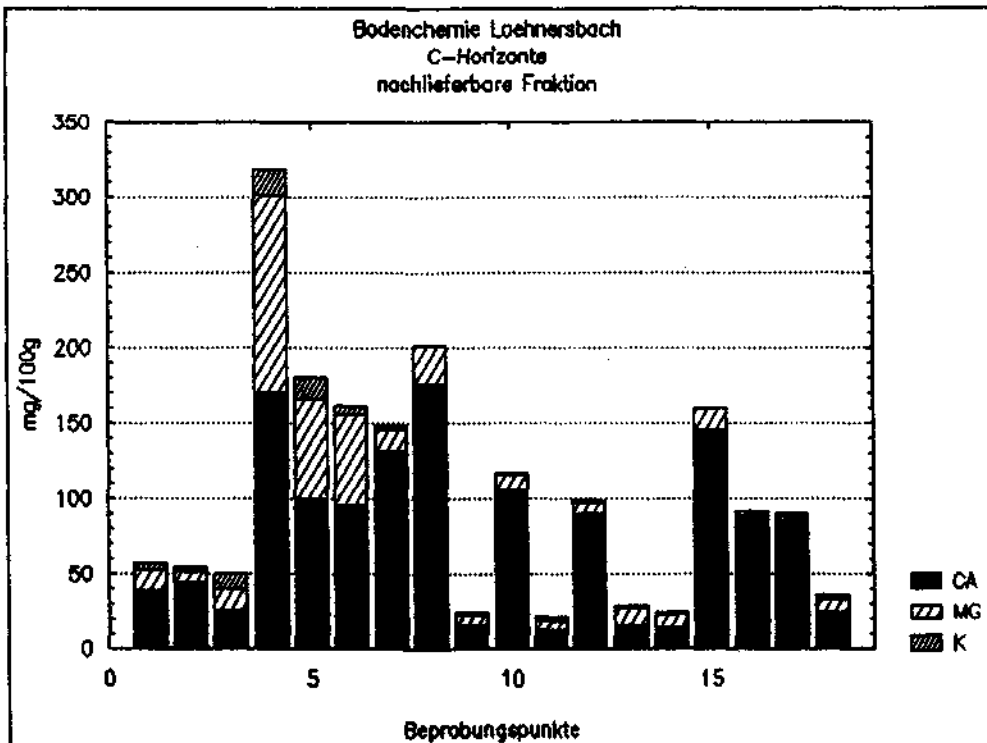
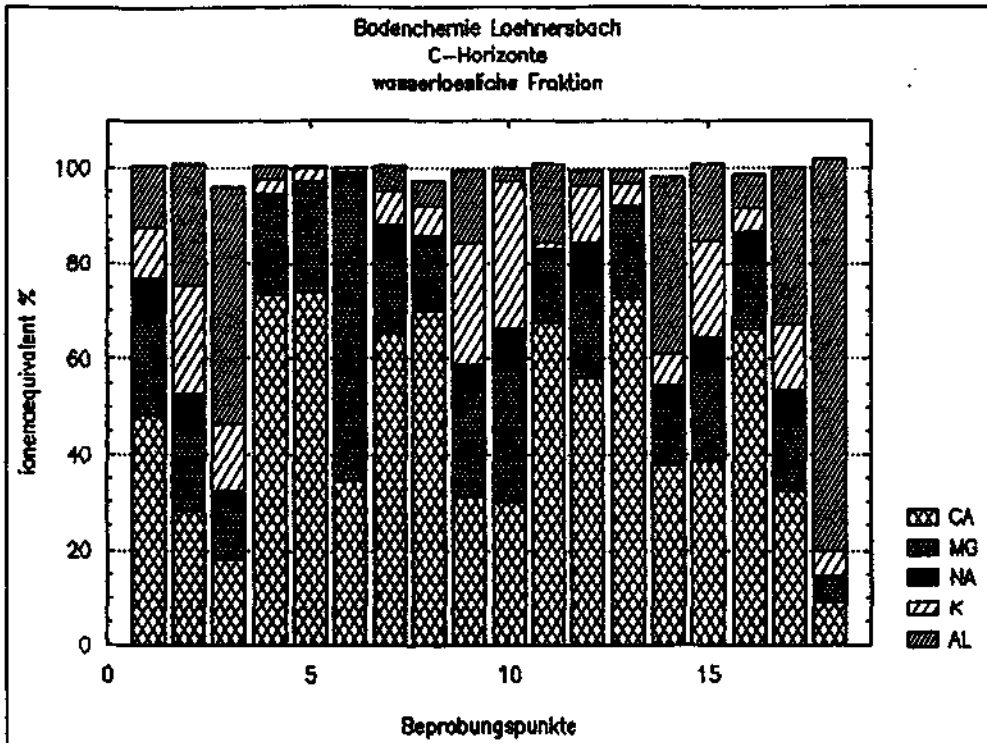


Abb.41: Gehalte an Hauptelementen in C-Horizonten über Wildschönauer Schiefer in Bodenlösung und nachlieferbarer Fraktion

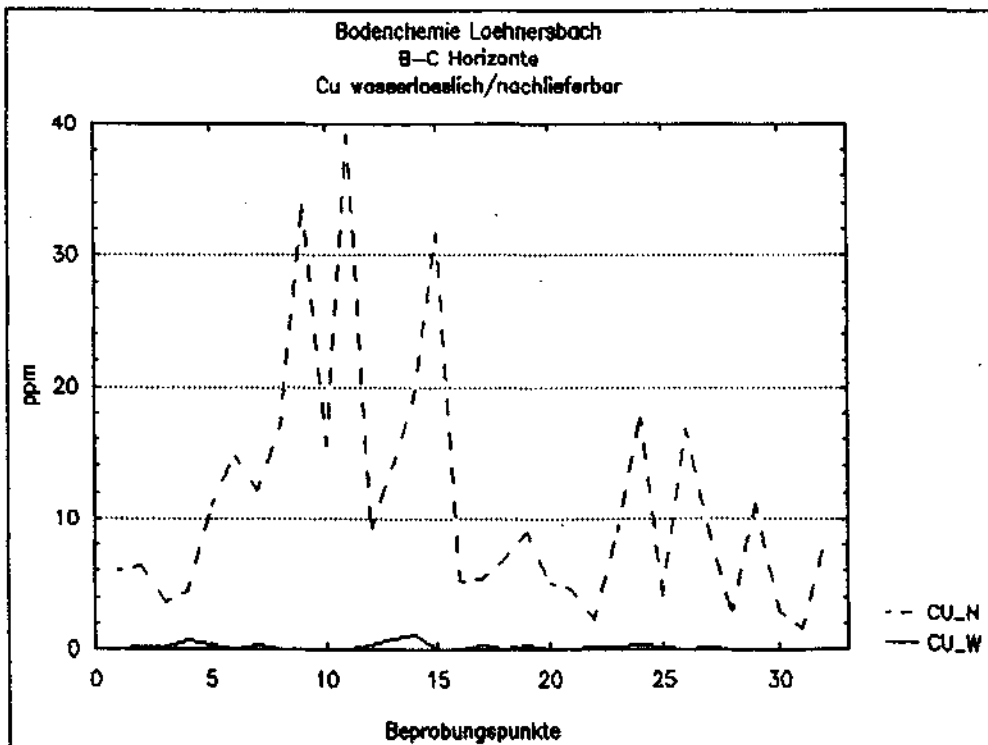
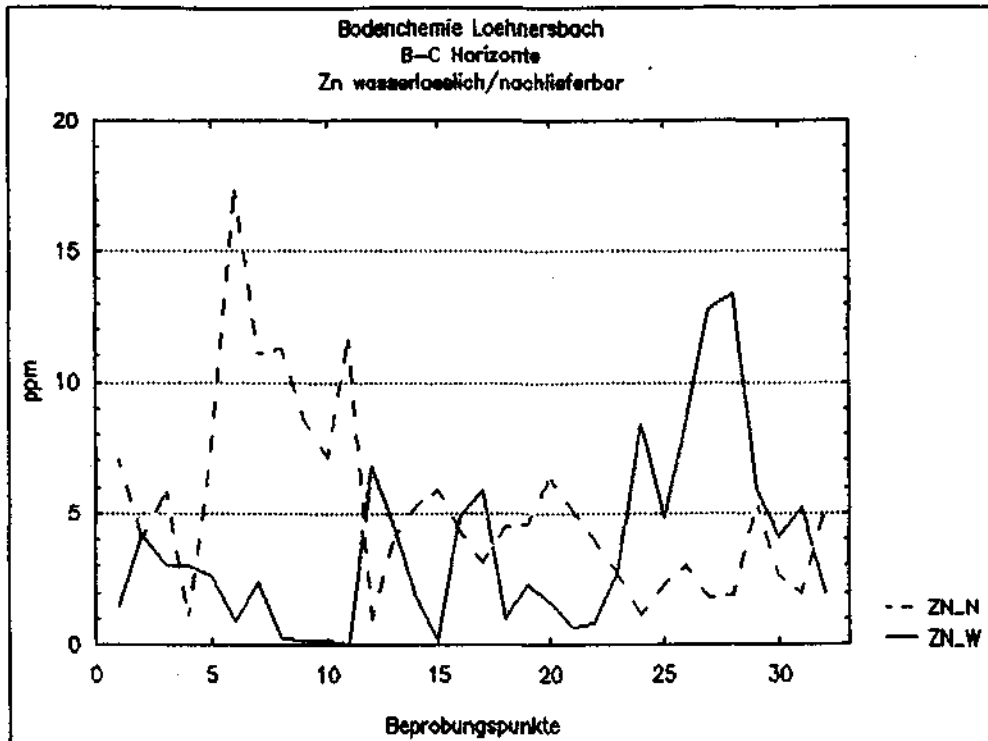


Abb.42: Gehalte an Cu und Zn in C-Horizonten über Wildschönauer Schiefer in Bodenlösung und nachlieferbarer Fraktion

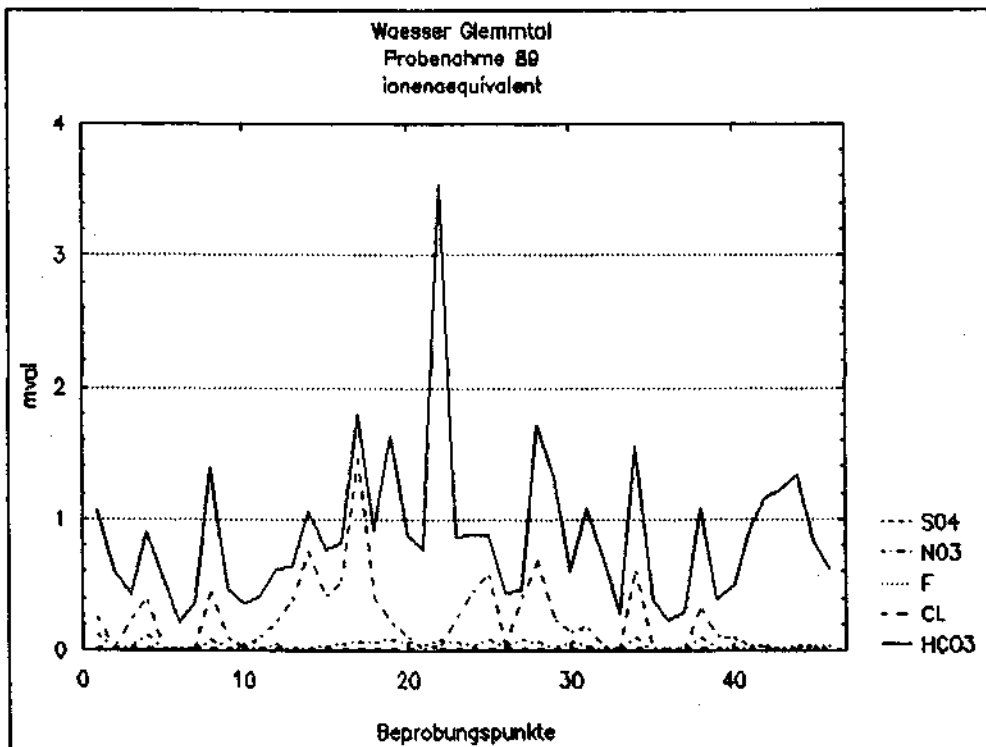
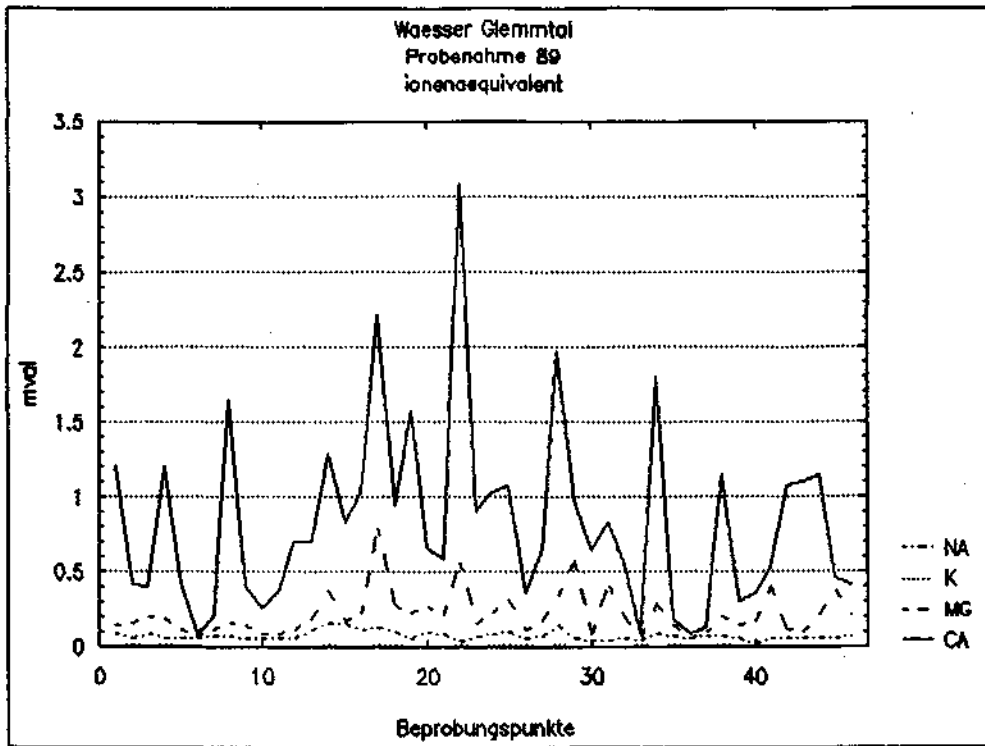


Abb.43: Kationen- und Anionenkombinationen in Quellen und Kleingerinnen, Glemmtal Beprobung 1989

4.2. Zentrales Waldviertel

Auch in einem Gebiet wie dem Waldviertel sind von geochemischen Daten mehrfach Hilfestellungen zu erwarten.

+ Zum ersten stellt sicher die Auswertung der Bachsedimentgeochemie einen Schwerpunkt dar. Besonders in den relativ schlecht aufgeschlossenen und tiefgründig verwitterten Gebieten bietet die Bachsedimentgeochemie eine Brücke zu gesteinsgenetisch-lithologischen Aussagen, die sonst nur an gesteinschemischen Analysen von frischem, unverwittertem Material möglich wäre.

Für die ausgedehnten Granitkomplexe zum Beispiel, die, beurteilt nur nach der Oberflächenkartierung, scheinbar sich sehr gleichförmig aufgebaut darstellen, besteht die Möglichkeit einer detaillierteren internen Gliederung. So sind auf Grund umfangreicherer statistischer Auswertung und Interpretation durchaus Zentral- und Randbereiche des Weinsbergergranits zu unterscheiden, sowie möglicherweise stärker durch sein altes Dach noch geprägte Partien zu erkennen. Selbstverständlich sind auch Indikatoren zur Unterscheidung unterschiedlicher Granittypen und ihrer Prägung durch das Ausgangsmaterial zu belegen.

Allein schon die unterschiedlichen Verteilungen der Hauptelemente erlauben wahrscheinlich eine genauere Fixierung der Grenzen zwischen Graniten und Paragneisen in den Einzugsgebieten, abgesehen von der deutlichen Unterscheidung in den Gehaltspegel der lithogen aussagekräftigen Spurenelemente.

Auf die Möglichkeit der Zuordnung einzelner Elemente zu bestimmten Mineralen wurde schon mehrmals in anderem Zusammenhang verwiesen.

Unter der Annahme der hauptsächlichen Bindung von Ca und Na an Plagioklas in Weinsbergergranit - bei gleichbleibendem Ca/Na-Verhältnis (in der Durchschnittsanalyse ca. 30% Anorthit) - sind in den beigelegten Grafiken (Abb. 45) zwei Verteilungskollektive festzustellen. Entweder sind innerhalb des Weinsbergergranitkomplexes auf Blatt Königswiesen Bereiche mit unterschiedlichen Plagioklasgehalten abzugrenzen oder der Effekt ist auf andere Ursachen zurückzuführen (Sedimentaufbereitung, Probenahme, u.a.); auf jeden Fall müssen solche Ergebnisse weiter hinterfragt werden.

Abbildung 46 zeigt demgegenüber die wechselnden, gesteinsabhängigen Variationen der Ca- und Na- Gehalte, sowohl für die Plagioklaszusammensetzung, als auch der Plagioklasgehalte in den verschiedenen Gesteinstypen der Paragneise der Monotonen Serie auf Blatt Ottenschlag.

An dieser Stelle kann nur andeutungsweise darauf hingewiesen werden, welche Möglichkeiten zur Unterstützung von geologisch-petrologischen Detailkartierung in der Umsetzung der Bachsedimentgeochemie gerade in der Böhmisches Masse stecken.

+ Zum zweiten ist gerade für den Bereich der Böhmisches Masse herauszustreichen, wie notwendig unterstützende Daten sind für Fragen des Nährstoffhaushalts und der primären Vorbelastung mit Schwermetallelementen.

Die tiefgründige Verwitterung seit dem Tertiär einerseits und der fortschreitende Einfluß geschlossener Waldgebiete andererseits führte zu einer progressiven Versauerung großer Anteile der Waldböden; mit ein zusätzlicher Faktor sind die spezifischen klimatischen Bedingungen.

Das regionale Klima (Windverhältnisse) bewirkte jedoch auch in den letzten Jahrzehnten eine zusätzliche Verschärfung der Situation über Immissions- und Depositionsbelastungen aus den nahen Industrierräumen. Verbreitete Bodendegradation und Waldschäden sind die Folge.

Kombinierte bodengeochemisch-hydrochemische Untersuchungen in einem Kleinzugsgebiet im Amstettner Bergland in Weinsbergergranit erbrachten Hinweise auf Böden bereits im Bereich des Fe-/Al-Puffers mit hoher Al und H Belegung am Austausch. Obwohl zwar noch in den Böden ein ausreichendes Basenangebot vorhanden ist, sind im Austrag in Quellen und Kleingerinnen Al-Gehalte in den Wässern bis 180 ppb festzustellen (Trinkwassertoleranzgrenze 200ppb !). Auch der Nitratgehalt in den Wässern (aus geschlossenen Waldgebieten) - mit z.T. >40 ppm, bei gleichzeitig aberranten Ionenkombinationen - deutet auf Bodendegradationsvorgänge hin.

Gesteinschemische und mineralogische Analysen von Material aus der Verwitterungszone zeigen, daß sich dort der Chemismus stark in Richtung SiO₂ auf Kosten der Alkalien und Erdalkalien verschiebt.

+ Systematische Beprobungen von Wässern und Analytik von Fluorid in geschlossenen Weinsbergergranit-Arealen erlauben eine weitere Hilfestellung zur lithologisch-tektonischen Interngliederung dieses ausgedehnten Granitkomplexes (SCHERMANN 1976). Eine tektonische Analyse in Verknüpfung mit den Lagebeziehungen der F-Analysenwerte ergab, daß höhere F-Gehalte mit großer Wahrscheinlichkeit an N-S Störungen und an die damit konjugierten Fiederspaltensysteme gebunden sind.

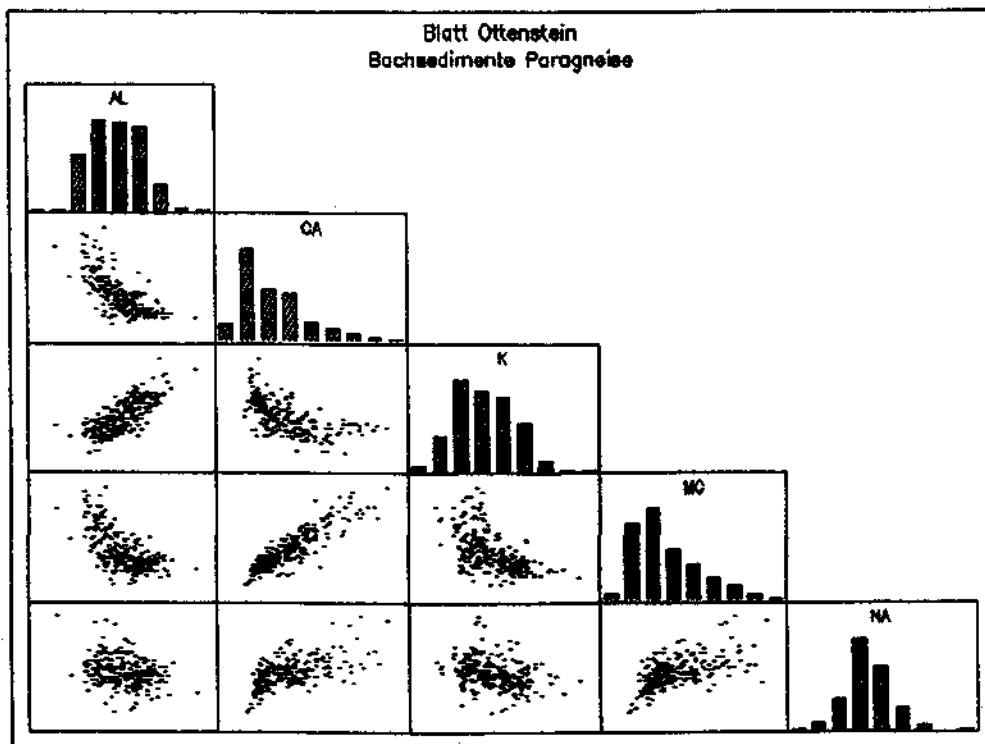
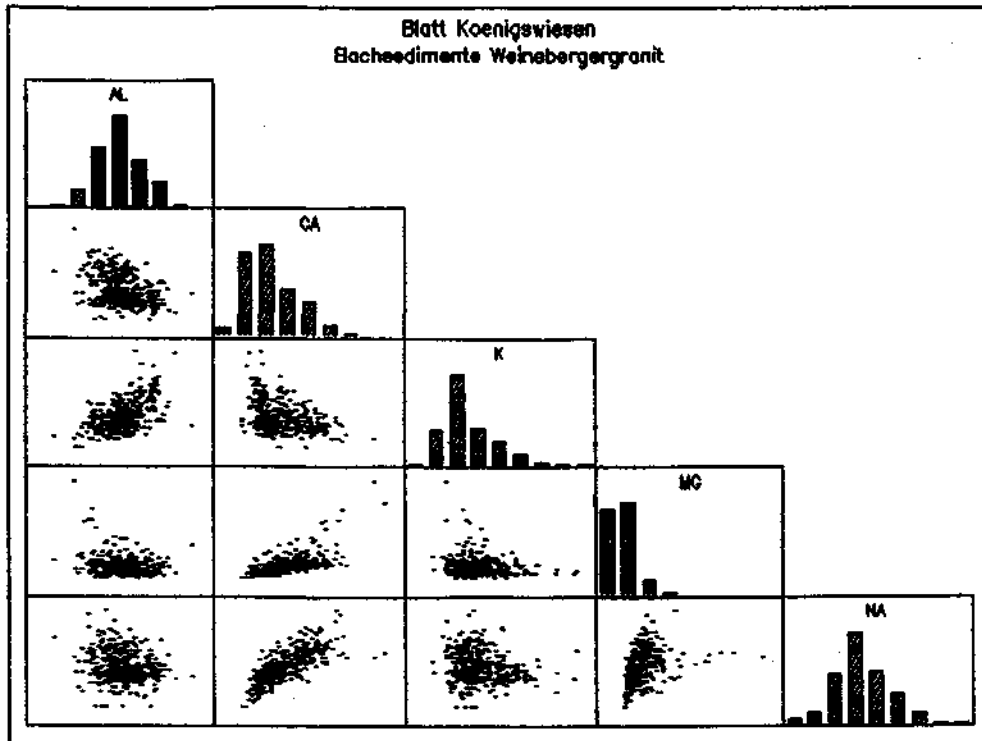


Abb.44: Hauptelementverteilungen und -verknüpfungen in Bachsedimenten aus Weinsbergergranit und Paragneisen

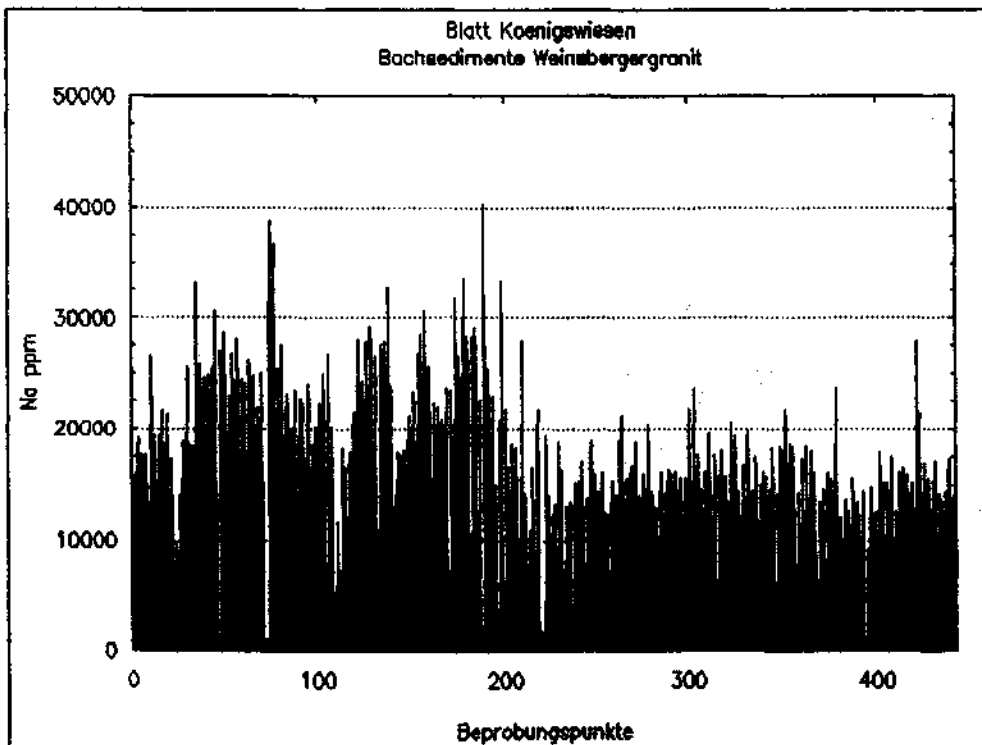
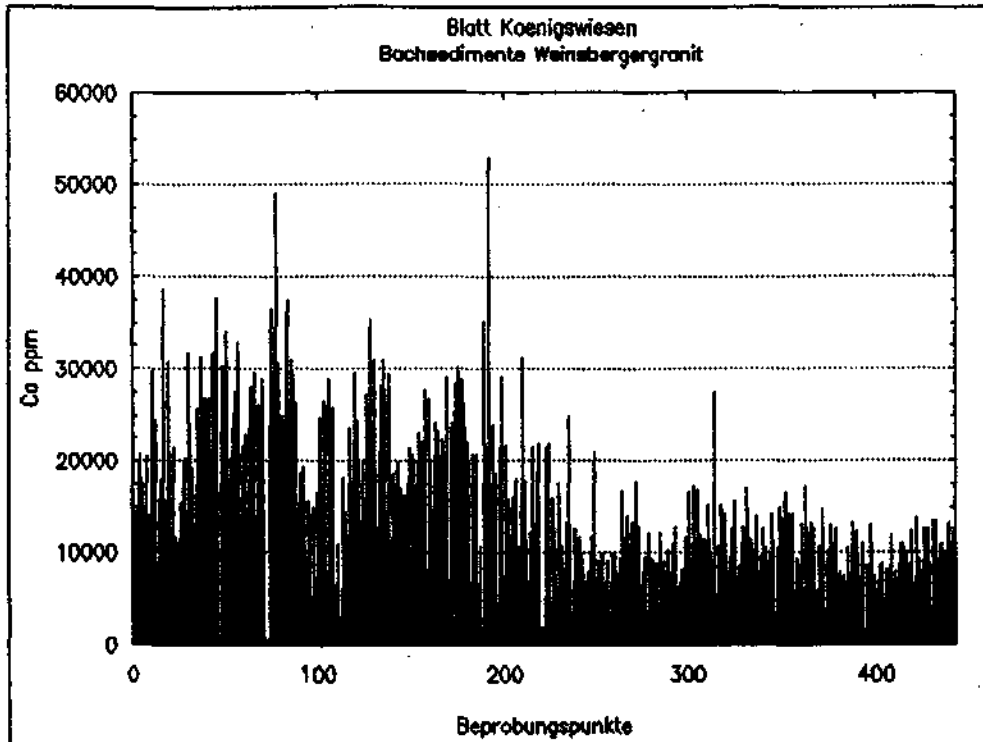


Abb.45: Ca- und Na- Gehalte in Bachsedimenten aus Weinsbergergranit Arealen

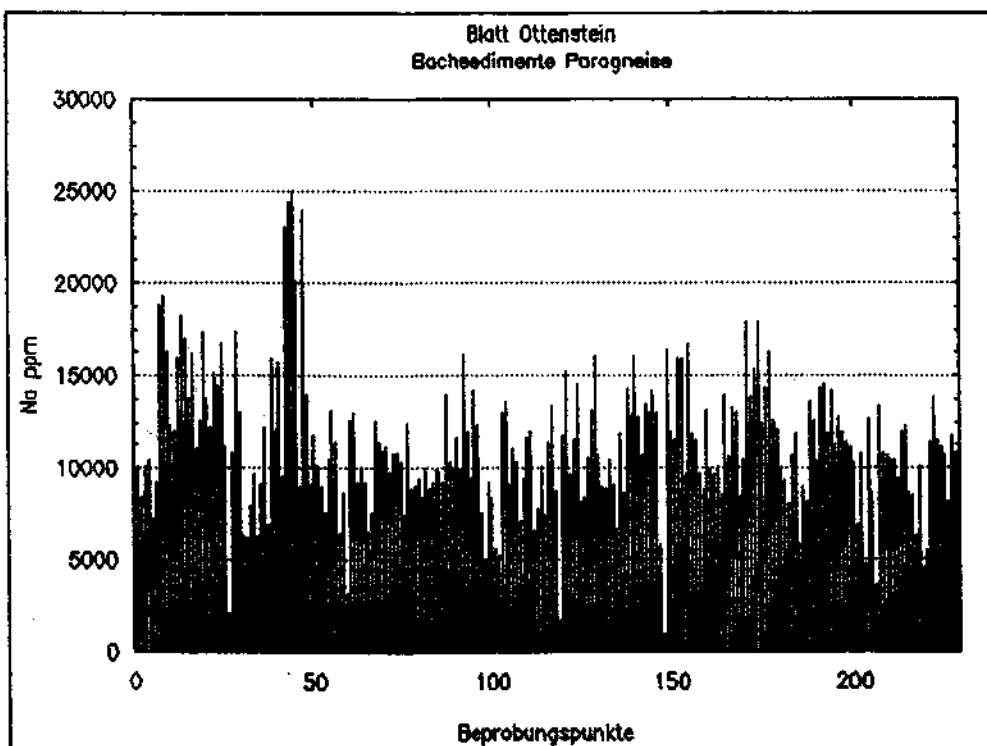
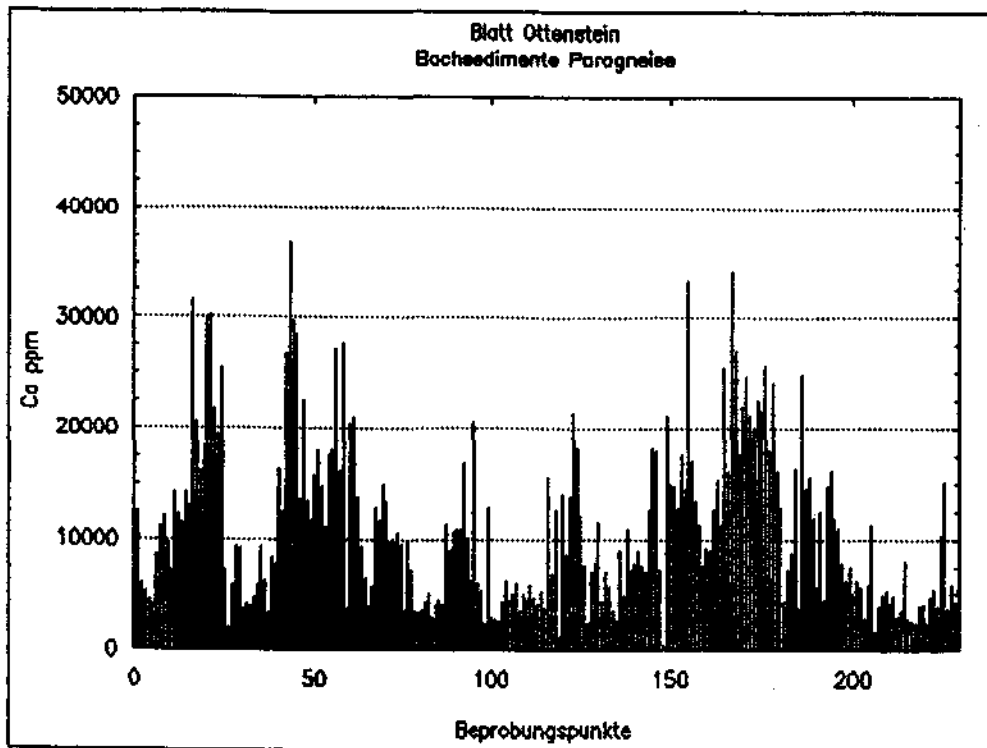


Abb.46: Ca- und Na- Gehalte in Bachsedimenten aus Paragneisgebieten

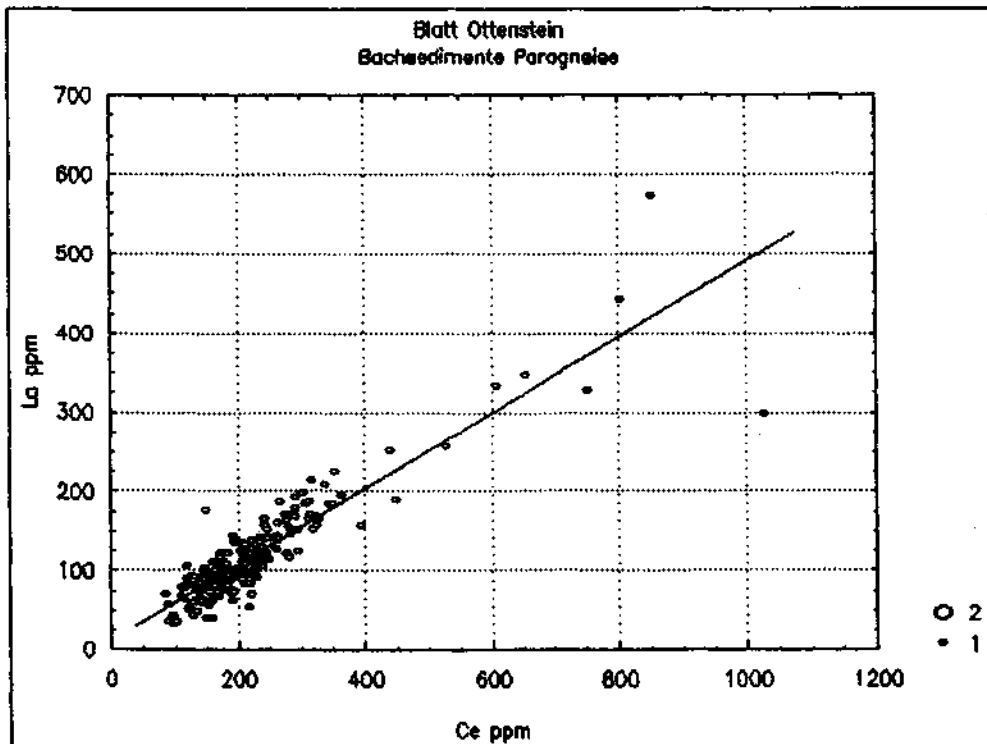
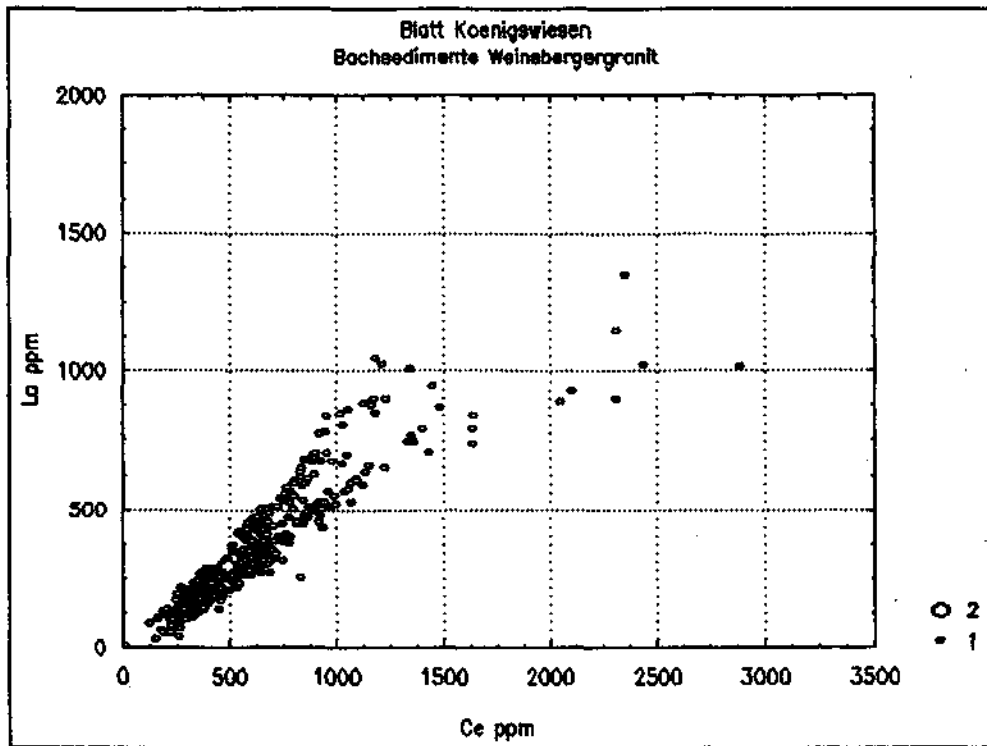


Abb.47: Ce/La-Verhältnisse in Bachsedimenten aus Weinsbergergranit und Paragneisen

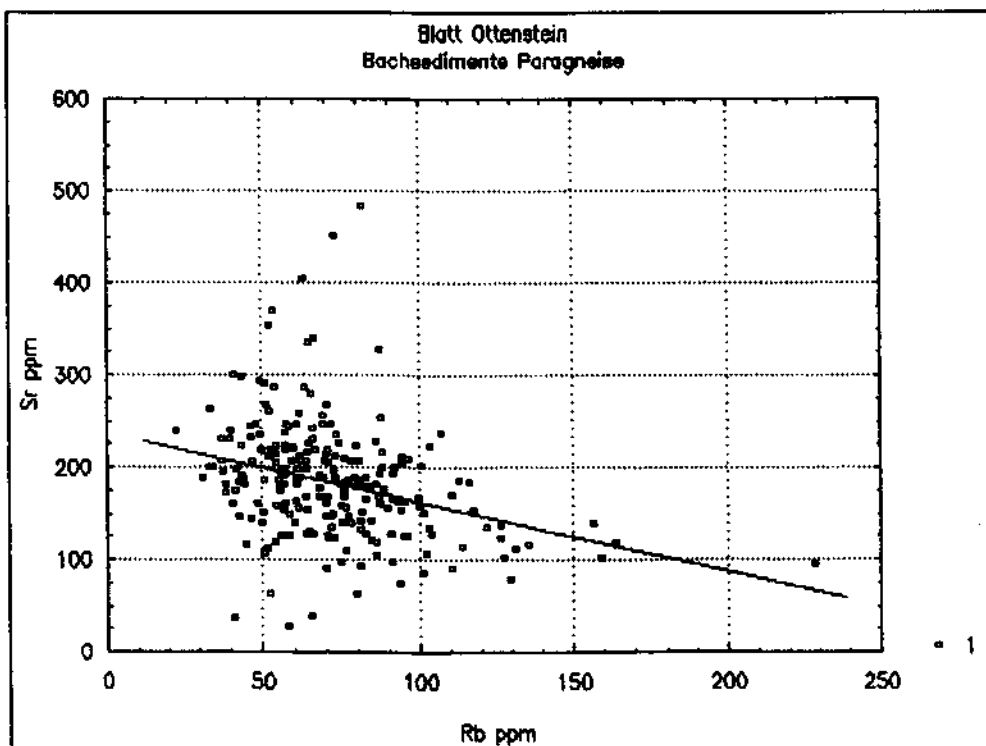
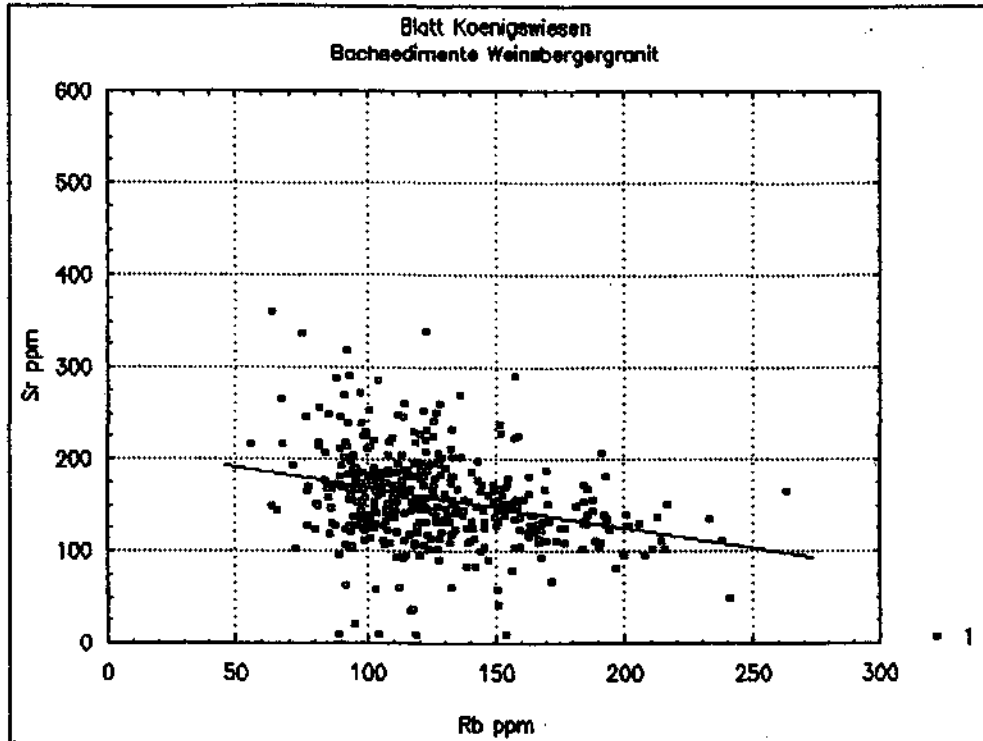


Abb.48: Rb/Sr-Verhältnisse in Bachsedimenten aus Weinsbergergranit und Paragneisen

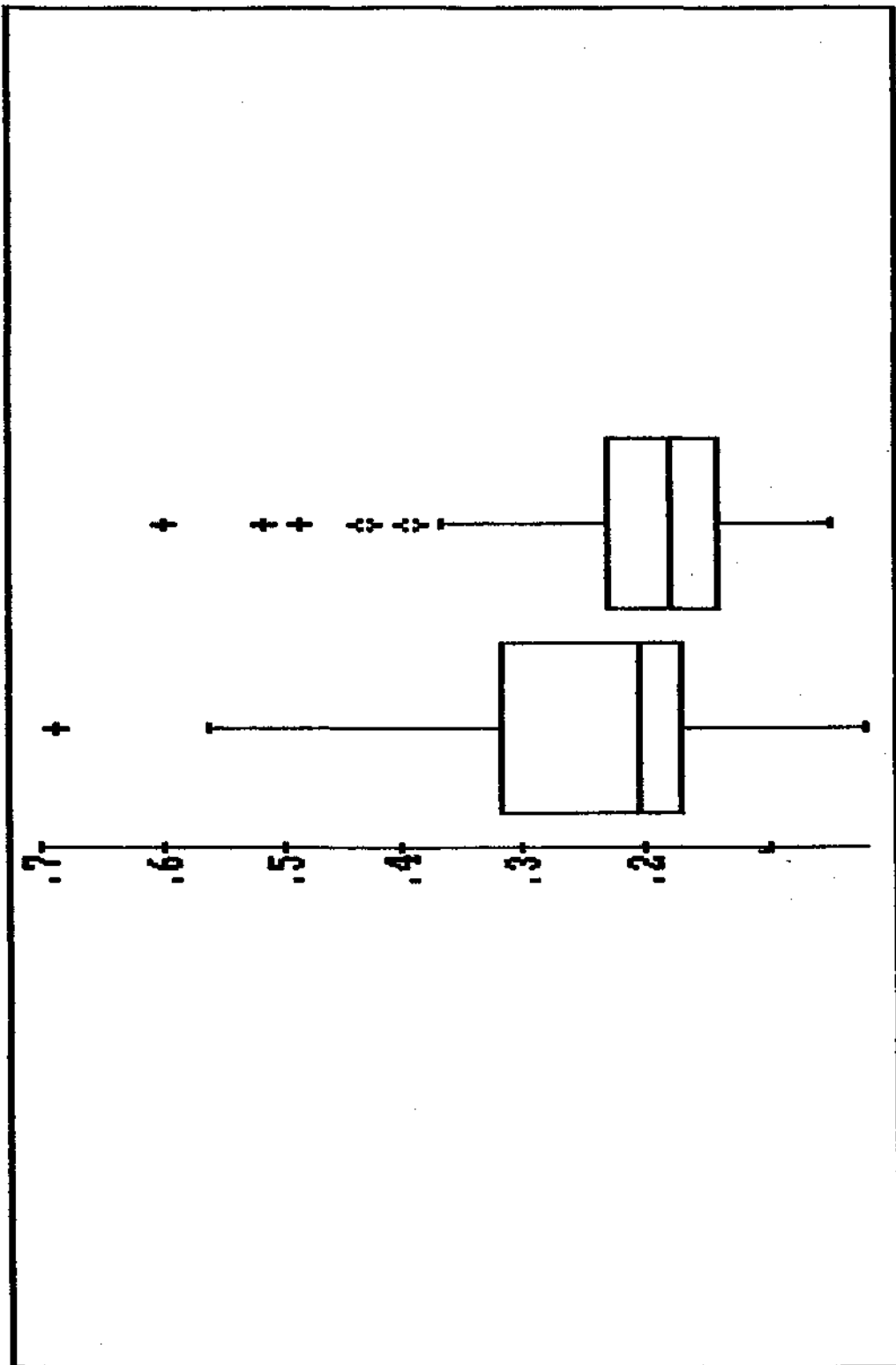


Abb.49: Fluoridgehalte in Wässern aus Quellen und Kleingerinnen in Weinsbergergranit Arealen

4.3. Niederösterreichische Kalkalpen

In den niederösterreichischen Kalkalpen stehen sich geologisch-tektonisch zwei Situationen gegenüber - z.T. engräumig lithologischer Wechsel im Nordabschnitt (Voralpen) und weiträumigerer, von einzelnen Schichtgliedern dominierter Bau eher im Südabschnitt.

Schon im Kap. 3.4.2. wurde auf die Problematik von Extremtypen (Reinkalke, Reindolomite) aufmerksam gemacht.

Wenn diese Reindolomite (wie Hauptdolomit) und Reinkalke (wie z.B. Dachsteinkalk, Wettersteinkalk) auch noch flächenhaft stark dominieren, sind mehrere Problemkreise, für die geochemische Untersuchungen relevant sind, anzusprechen.

+ Besteht die Gefahr von Mangelangeboten bei bestimmten essentiellen Spurenelementen? Mn- und Cu-Mangelercheinungen auf Kalkstandorten sind bekannt; die Gefahr von Mo-Mangel auf Dolomitstandorten wäre zu untersuchen. Systematische Untersuchungen von Karbonatgesteinen auf ihre Spurenelementgehalte liegen in den Kalkalpen nicht vor.

+ Reindolomite und Reinkalke liefern als Verwitterungs- und Abtragungsprodukte nur wieder physikalisch zerkleinertes Reinkarbonatmaterial.

In Böden und den Bach- und Flußsedimenten in entsprechenden Einzugsgebieten ist deshalb mit einer verringerten Puffer-, Speicher- und Adsorptionskapazität gegenüber in das System eingebrachten Schadstoffe zu rechnen, da die Möglichkeit des Tonmineralaufbaus faktisch fehlt oder stark verringert ist; in solchen Fällen bleibt allein der Karbonatpuffer als Schutzfaktor gegen den Austrag bestimmter Schadstoffe.

Im Bereich stärker wechselnder Lithologie mit Kalken, Mergeln, Sandsteinen und Schiefen in enger stratigraphischer und tektonischer Verbindung erscheinen diese Problemkreise untergeordnet.

Die laufende flächendeckende Bach- und Flußsedimentbeprobung und Analytik in Niederösterreich könnte Brücken zur Beantwortung obiger Problemkreise schlagen. Einerseits werden lokale und regionale lithologiebezogene Spurenelementgehalte auswertbar, andererseits werden Aussagen möglich zur aktuellen Belastung und eventuell (eingeschränkten) Belastbarkeit.

Bodenchemische Untersuchungen auf einer Fläche von 200 km² auf Blatt Türnitz (1 Probe pro km²) weisen auf eine relativ starke

Lithologie- und Stratigraphie-Abhängigkeit der Schwermetallelemente hin (SCHERMANN et al.1983). Die einzelnen Elementpegel liegen dabei auch in unterschiedlichen Niveaus (s.Abb.52-53) -

z.B.	Cu	20% <10ppm
		50% <15ppm
		90% <30ppm
	Zn	70% <100ppm
		90% <200ppm
	Pb	15% >100ppm
		ca 10% der Werte zwischen 100 und 600 ppm!

Wenn man dem die Tatsache gegenüberstellt, daß tiefgündigen Rendzinen in den betroffenen Standorten mit rezenter Immissionsbelastung zur Versauerung im Oberboden neigen, ist damit zu rechnen, daß insbesondere Blei schon aus dem natürlichen Angebot mobilisiert werden könnte und als zusätzlicher Streßfaktor im Problemkreis Waldsterben wirken könnte.

Neben gezielten karstgeohydrologischen Untersuchungen in den NÖ.Kalkalpen (z.B.im Ötschergebiet) wurden im Rahmen einer hydrochemischen Prospektionskampagne systematisch und flächendeckend in der östlichen Hälfte Wässer an Quellen und Kleingerinnen beprobt, Geländemeßwerte erhoben und auf mehrere Parameter analysiert (>1200 Meßpunkte).

Aus diesem Datenmaterial ist es möglich auszuwerten:

- detaillierte Zuordnung von Fluoridgehaltepegel in Wässern zu einzelnen lithologisch-stratigraphischen Schichtgliedern
- Wässertypisierungen nach ihren Einzugsgebieten
- Hinweise auf Bereiche erhöhter Wahrscheinlichkeit von Mineralwasserzutritten
- einzelne Hinweise auf Belastung von Oberflächenwässer durch Straßenabwässer
- Abschätzung des Einflusses hydrologischer Situationen auf den Wasserchemismus in Abhängigkeit vom Einzugsgebiet
- Ansätze zur Bewertung von Nitrataustrag als Indikator des Bodenzustands in Karbonatgebieten (s.auch Kap.3.1.3.)

In den Abbildungen 50-51 belegen Beispiele von Wasseranalysen aus verschiedenen Bereichen der NÖ.Kalkalpen die hohe Varianz der verschiedenen Typen und damit die Indikatorfunktion der Ionenkombinationen für ihre Einzugscharakteristik.

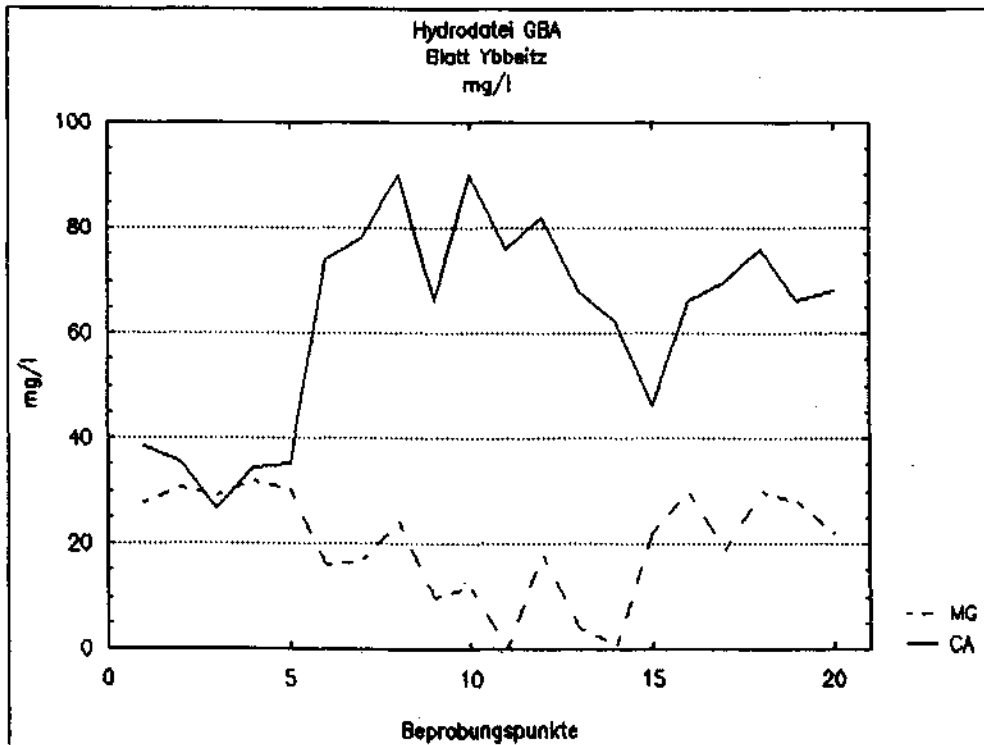
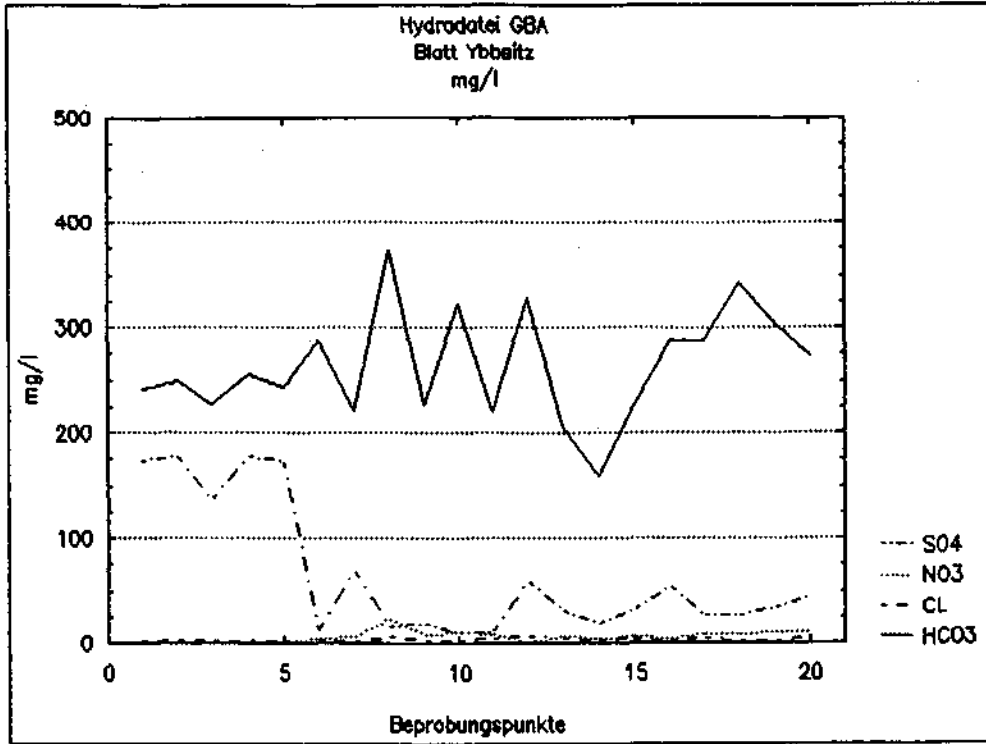


Abb.50: Ionenverteilungen in Quellwässern auf ÖK 71/Ybbsitz

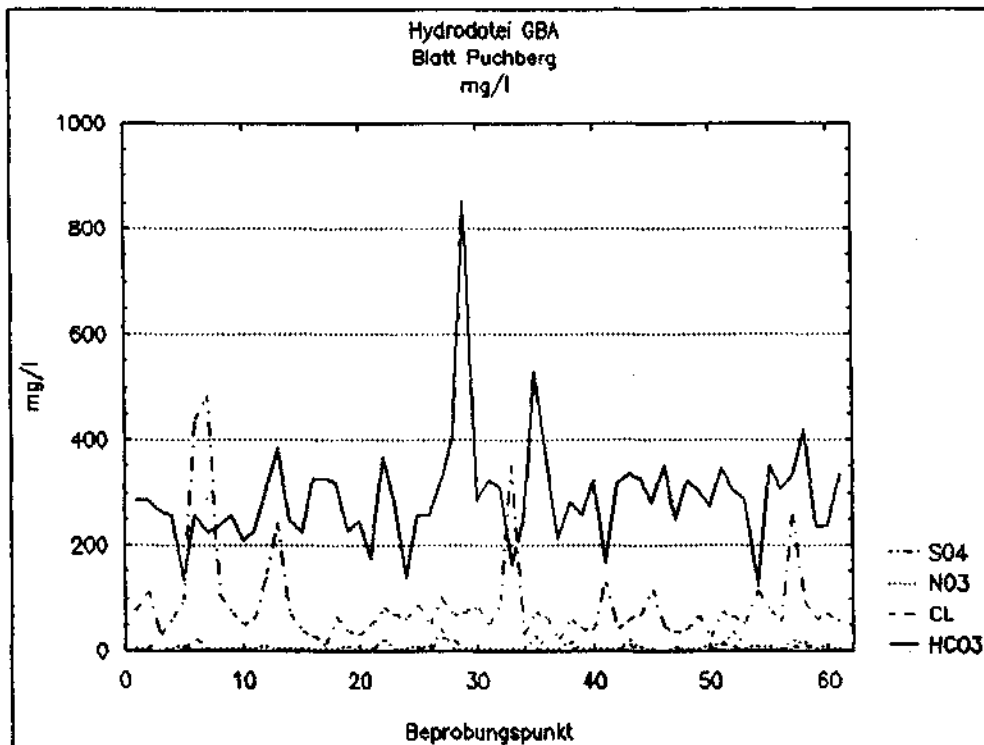
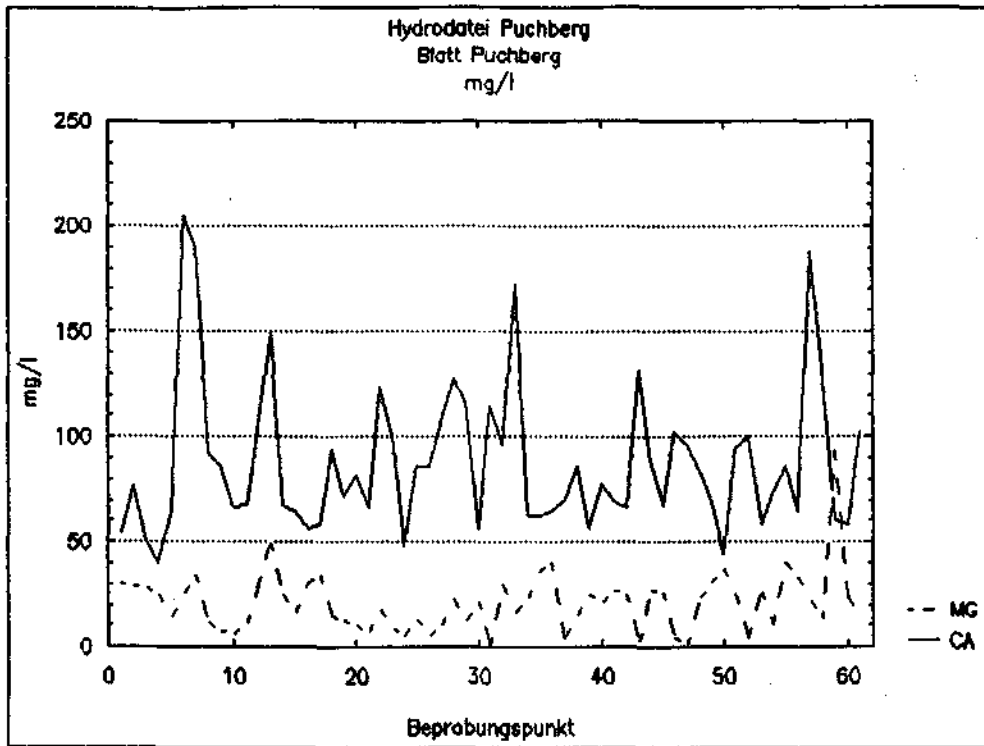


Abb.51: Ionenverteilung in Quellwässern auf ÖK 75/Puchberg a.S.

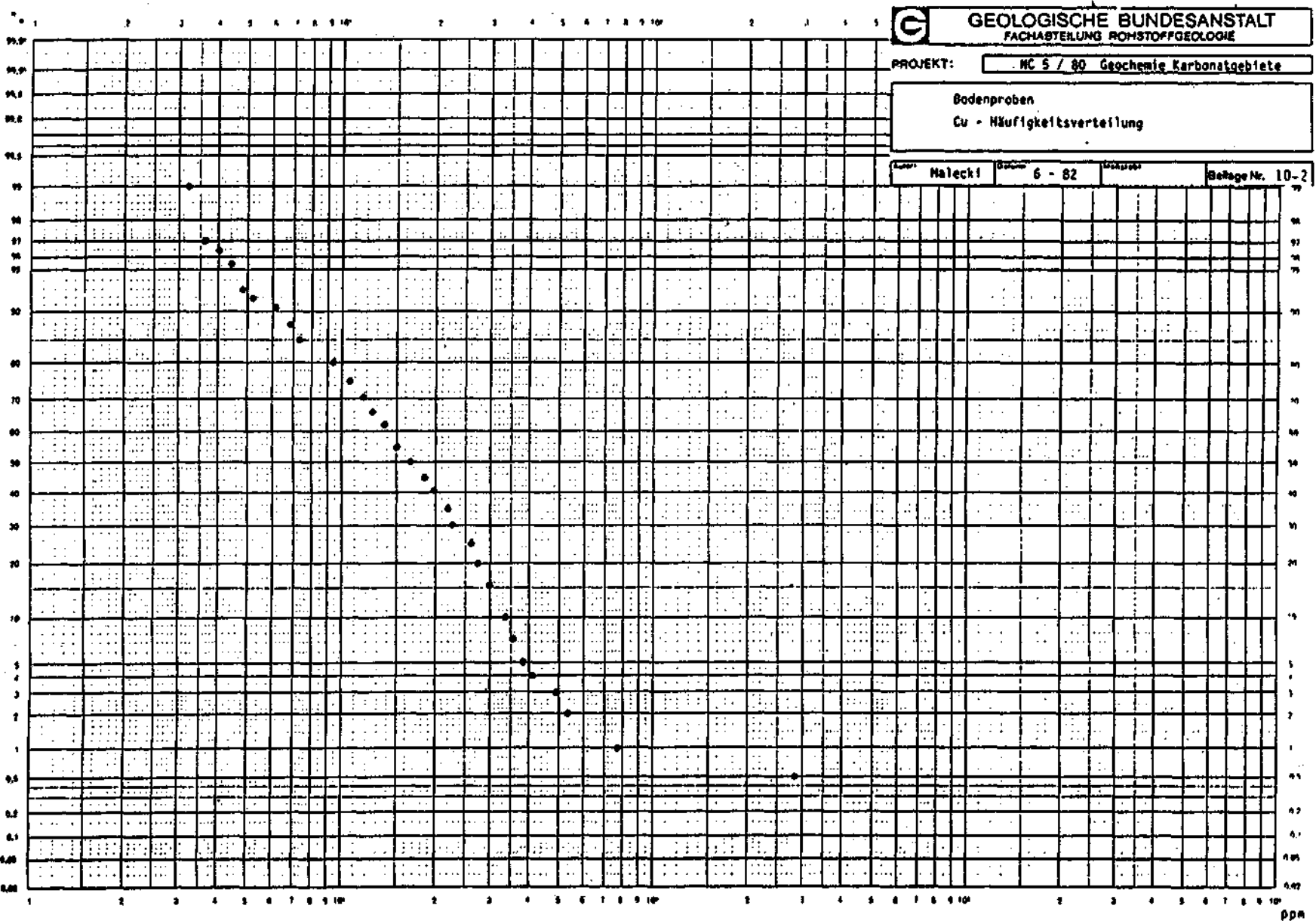


Abb. 52: Cu-Häufigkeitsverteilung in Unterböden Bereich OK 73/Tarnitz

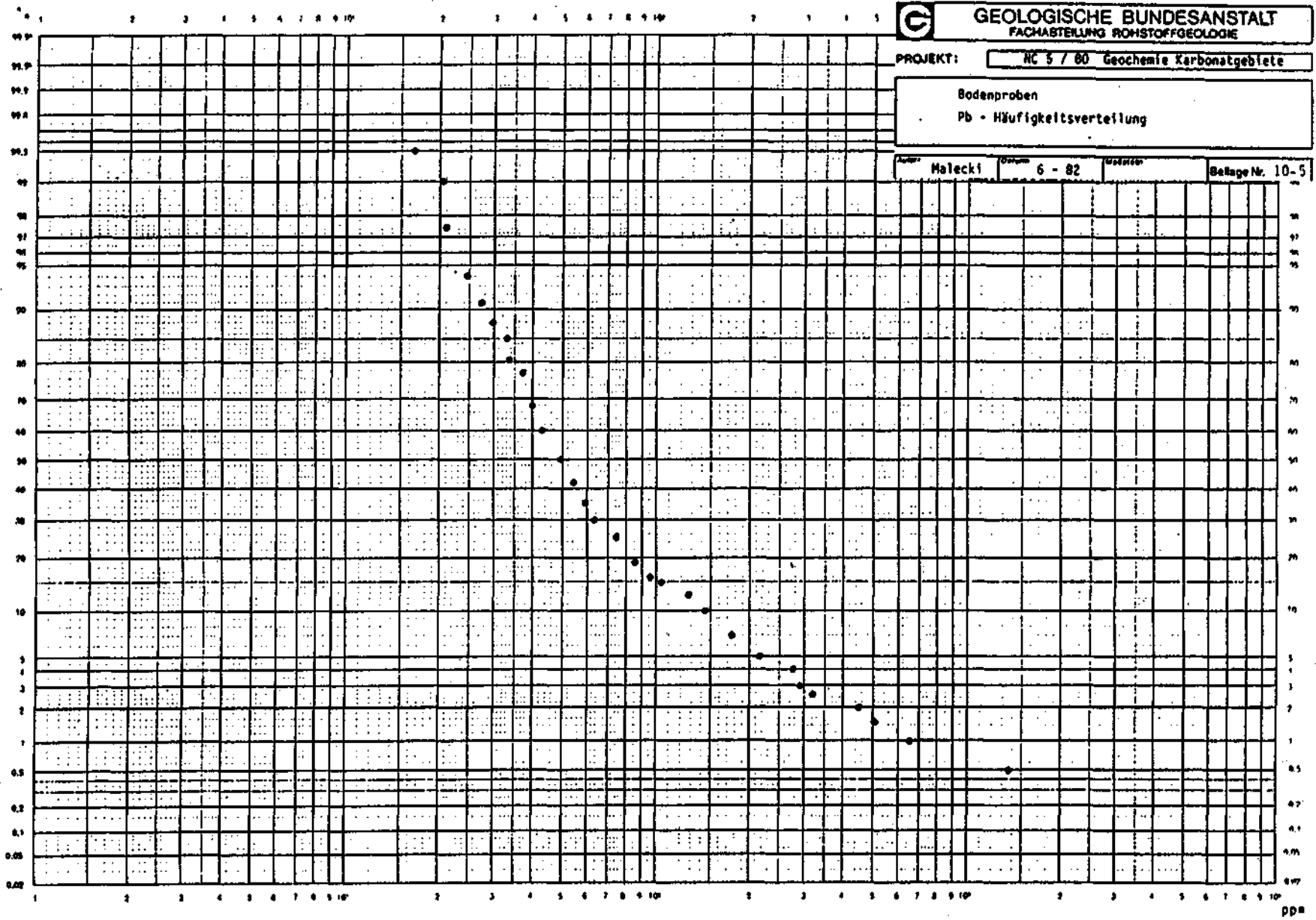


Abb. 53: Pb-Häufigkeitsverteilung in Unterböden Bereich OK 73/Türnitz

4.4. Silvretta-Verwallkristallin

Als letztes Regionalbeispiel wurde das Montafon ausgewählt. Einerseits infolge der Problemdichte - intensive Nutzung bis in hochalpine Regionen, Schutzwaldproblematik, Massenbewegungen -, andererseits wegen des hohen vorhandenen Informationsstandes von regionalen Untersuchungen mehrerer Forschungsdisziplinen. Auf der Basis einer IR-Befliegung liegt eine Waldzustandskartierung vor (ZIRM et al. 1985), als erstes Bundesland führte Vorarlberg eine Bodenzustandserhebung (HUSZ 1986) aus, für das Montafon sind flächendeckend die Daten der Bachsedimentgeochemie auswertbar und große Teile des Montafons wurden in den letzten Jahren geologisch modern kartiert. Auf diese regionalen Untersuchungen bauen jetzt sowohl weitere Grundlagenforschungen auf wie z.B. interdisziplinäre Waldökosystemforschungen an ausgewählten Standorten, als auch Versuche, die Ergebnisse direkt in die Praxis überzuführen wie z.B. in Schutzwaldsanierungskonzepten.

Es stellt sich auch hier die Frage inwieweit geochemische Daten eine Hilfestellung geben können.

Aus den Elementgehalten und ihren Verknüpfungen/Korrelationen in Bachsedimenten lassen sich Rückschlüsse ebenfalls wie in anderen geologischen Räumen auf Mineralgehalte und Gesteinscharakteristik im Einzugsgebiet tätigen.

Herausgegriffen wird die Gegenüberstellung von Proben aus der Phyllitgneiszone und dem Verwallkristallin (Abb.54-56).

Bei den Hauptelementen zeigen sich hohe Ähnlichkeiten im jeweiligen Gehaltpegel und den Trends - die tektonische Abtrennung dieser beiden Einheiten steht auch in Diskussion! In beiden Einheiten dominieren Biotitplagioklasgneise und Granite als Hauptgesteinstypen (bei etwas unterschiedlicher Diaphthoresesituation); korrelierte Ca/Mg-Peaks verweisen auf Grüngesteine (Amphibolite); einzelne extrem quarzit. Typen sind im Verwallkristallin anzutreffen. Eine erste Übersichtsauswertung der Bachsedimentgeochemie läßt sich somit sehr gut mit dem bekannten geologischen Bild vereinbaren. Die Brauchbarkeit von Detailauswertungen hinsichtlich der Umsetzung auf Elementgehaltsverteilungen bestimmter Gesteinstypen wird daher möglich als Brücke und Ersatz für fehlende systematische gesteinsgeochemische Analysen.

Das Schwermetallelementangebot im Verwallkristallin ist durchgehend sehr niedrig. Die etwas erhöhten Cr/Cu Spitzen korrelieren mit Grüngesteinen im Einzugsgebiet. Der einzelne auffällige Blei-Wert >600 ppm ist mit dem Beprobungspunkt direkt unterhalb einer ehemaligen Mülldeponie der Gemeinde Schruns in Verbindung zu bringen! Die Schwermetallgehalte in der Phyllitgneiszone dürften

ebenfalls im Background allgemein sehr niedrig liegen, sie werden jedoch im vorliegenden Fall stark von den Anreicherungen und Mineralisationen entlang des tektonischen Grenzbereiches zur Kalkalpenbasis beeinflusst. Zusätzlich wirken sich in der Grafik Abb.56 die Ultrabasite im Bereich Tilisuna/Schwarzhorn im Bachsediment aus.

Das umfangreiche Analysenmaterial der Bodenzustandsaufnahme Vorarlbergs wurde bisher nur nach groben regionalen Kriterien ausgewertet und interpretiert. Eine Nutzung dieser Informationen innerhalb kleinregionaler oder lokaler Fragestellungen - der Versuch die Einzelstandortaussage zu verallgemeinern - wird jedoch in Ansätzen notwendig z.B. bei den Waldökosystemuntersuchungen oder der Schutzwaldsanierungsplanung.

Das gewählte fraktionierte Analysensystem ("wasserlöslich-nachlieferbar-gesamt") erlaubt nun zu versuchen, Trendlinien vom primären Gesteinsangebot zum Vegetationsverfügbaren in Abhängigkeit zum Untergrundstandort nachzuvollziehen. Wenn dies rückgekoppelt wenigstens in Ansätzen möglich ist, wird auch eine gewisse Verallgemeinerung der jeweiligen bodenchemischen Analysen erleichtert.

An Hand der jeweils tiefsten Horizontproben (Bv und/oder C) der Probepunkte im Montafon wird eine erste Gesteinszuordnung versucht (Abb.57-62).

Bei Betrachtung der Elementauswertungen nach Probepunkten fällt auf, daß trotz Zuordnung zu geologischen Einheiten, großteils auf Grund moderner Kartengrundlagen, sich keine einheitlichen Gruppen innerhalb der Gesteinszuweisung bilden lassen.

Dies hat zwei hauptsächliche Gründe:

- a. ist für jeden Punkt zu prüfen, inwieweit ein direkter Boden-Felskontakt besteht, oder ob die Bodenprobe (eventuell ferntransportiertes) Moränenmaterial aufschließt.
- b. ist der Geochemismus äußerlich lithologisch gleicher Gesteinstypen über das Montafon hin wahrscheinlich nicht konstant. Insbesondere Granite und Amphibolite dürften sich zwischen Zentralsilvretta und Westrand stark unterscheiden.

Unter Einbeziehung und Beachtung dieser Faktoren wird es daher durchaus möglich sein, über eine Verknüpfung Bodenzustandsanalytik/Bachsediment- und Gesteinschemie auch allgemein gültigere Aussagen für Standortfragen im Montafon zu entwickeln.

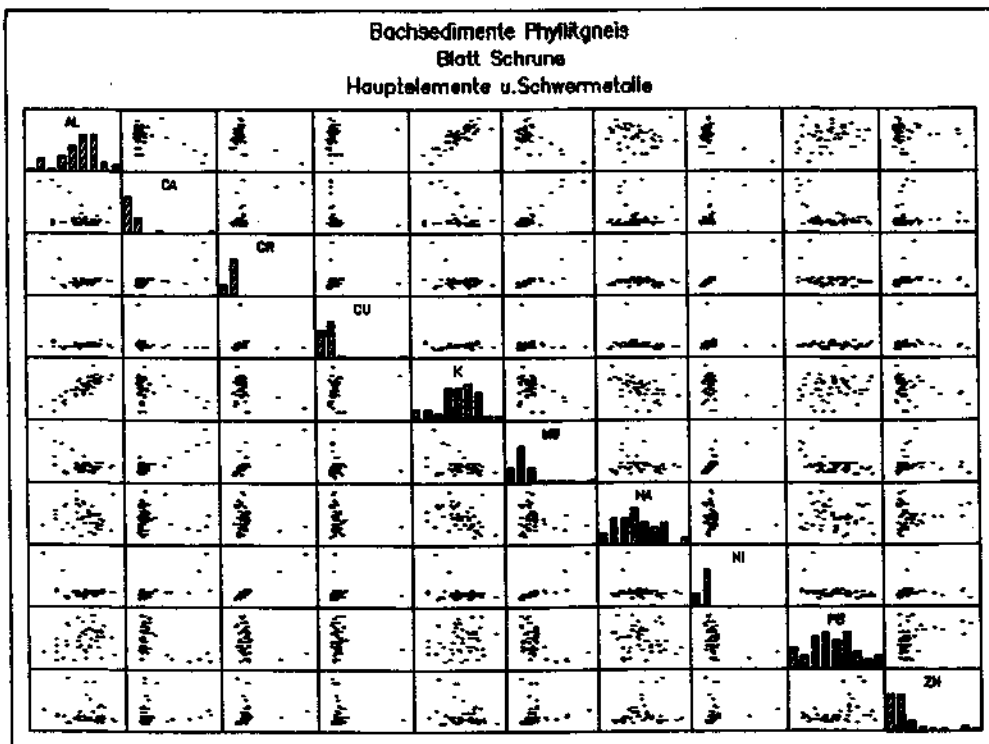
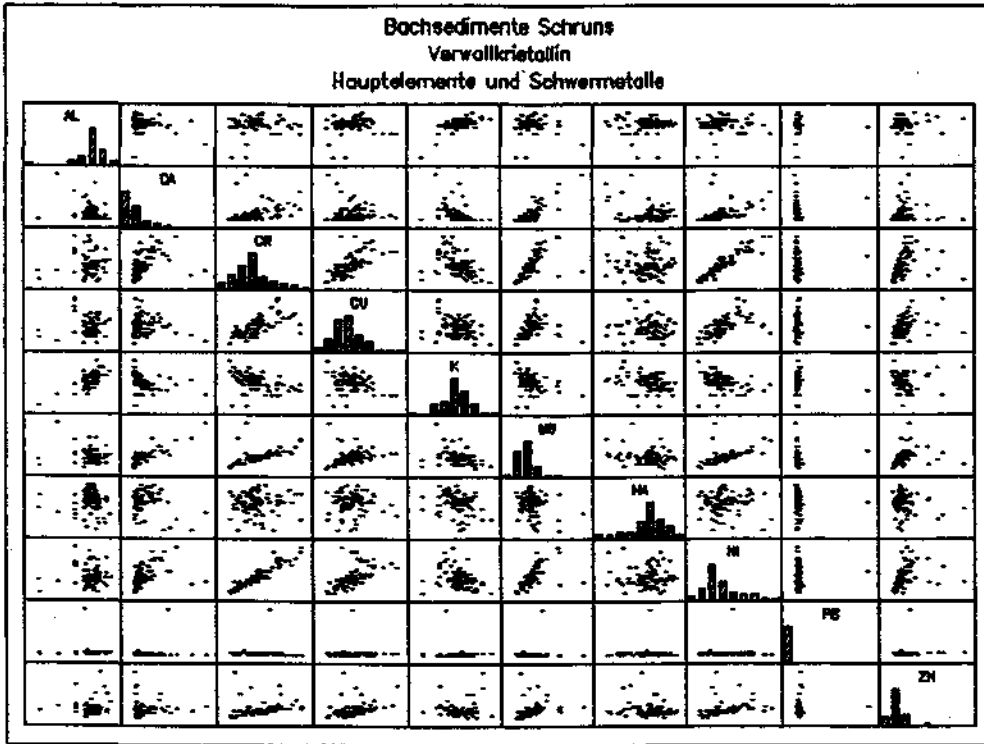


Abb.54: Elementverteilungen und -verknüpfungen in Bachsedimenten aus Phyllitgneiszone und Verwallkristallin auf ÖK 142/Schruns

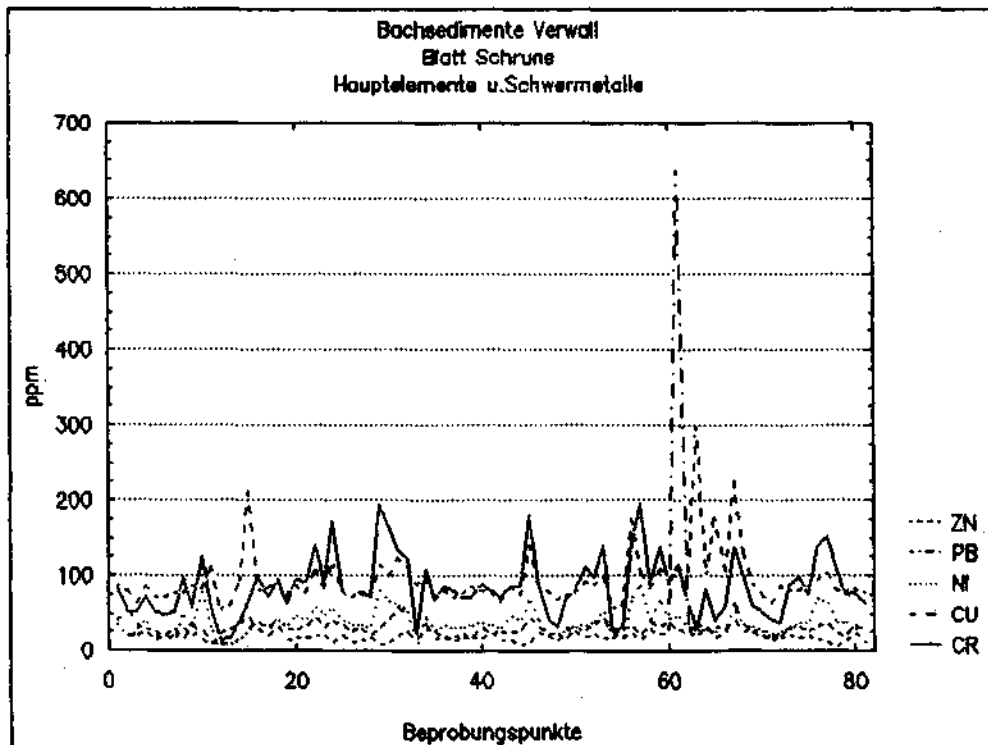
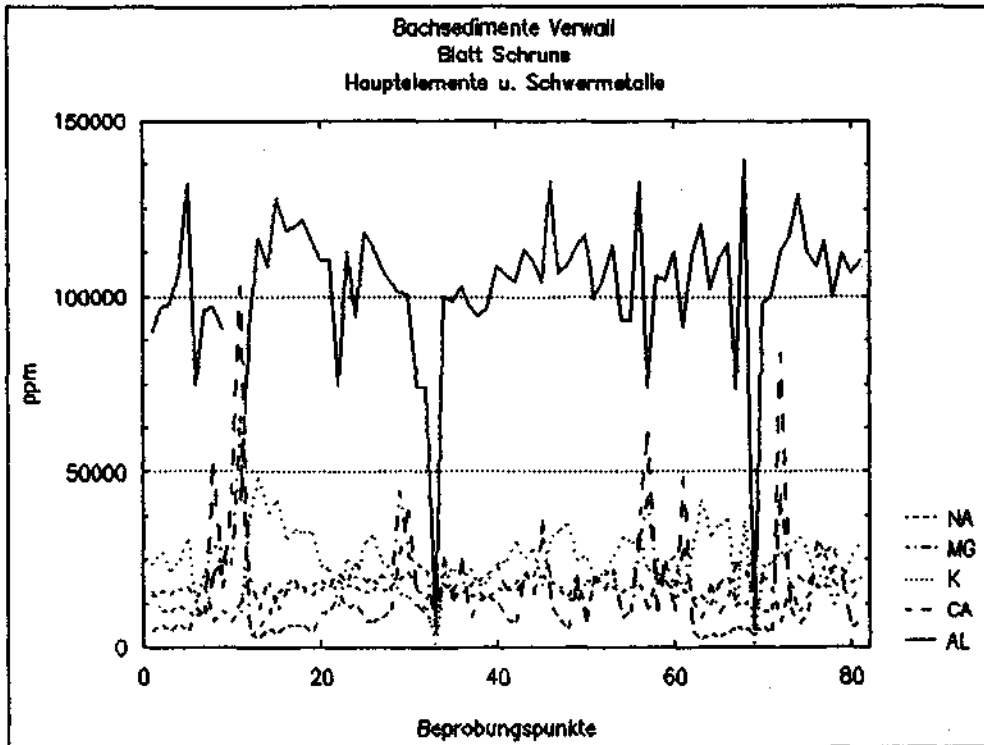


Abb.55: Elementgehalte nach Probepunkten in Bachsedimenten des Verwallkristallins auf ÖK 142/Schruns

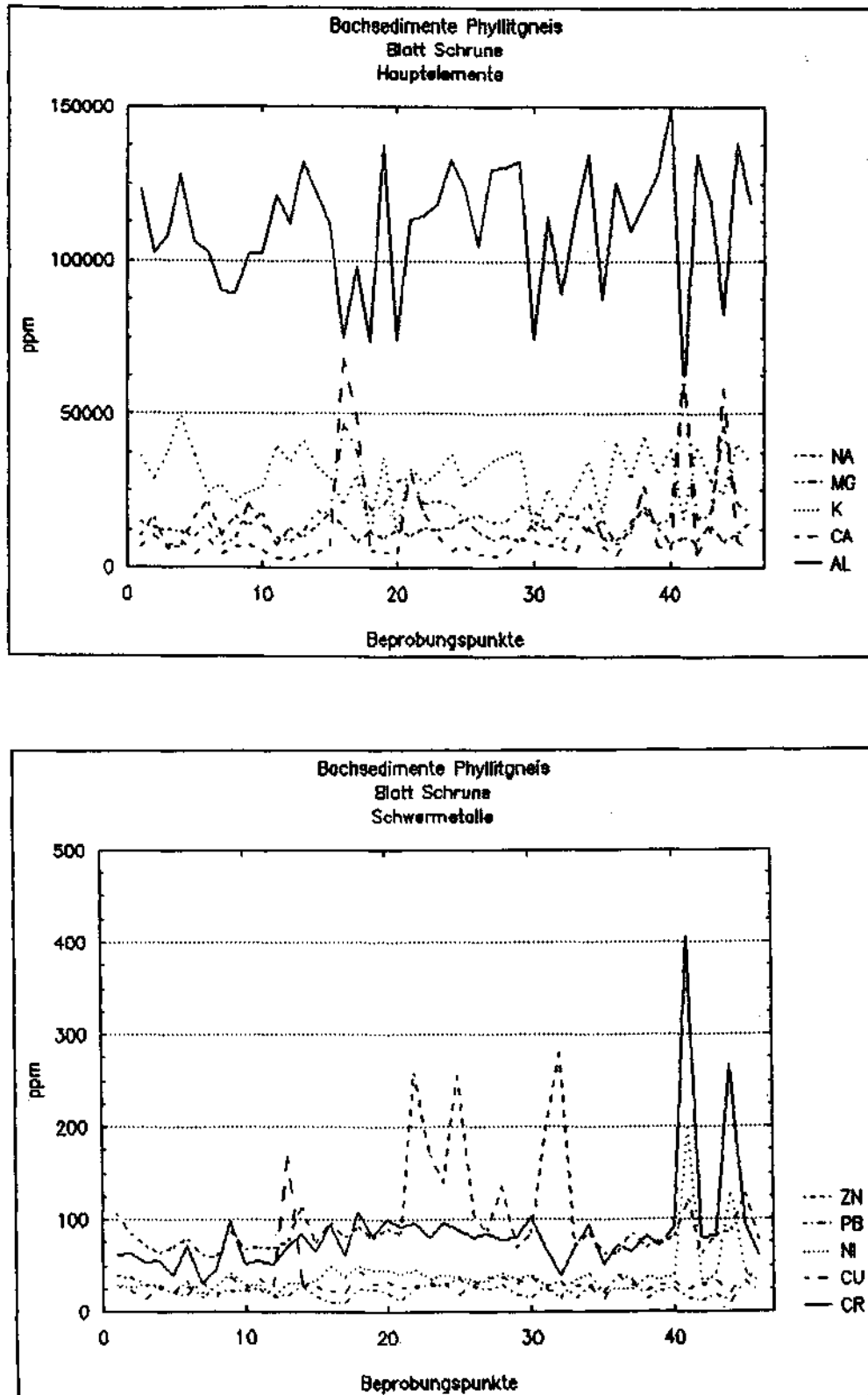


Abb.56: Elementgehalte nach Probestellen in Bachsedimenten der Phyllitgneiszone auf ÖK 142/Schruns

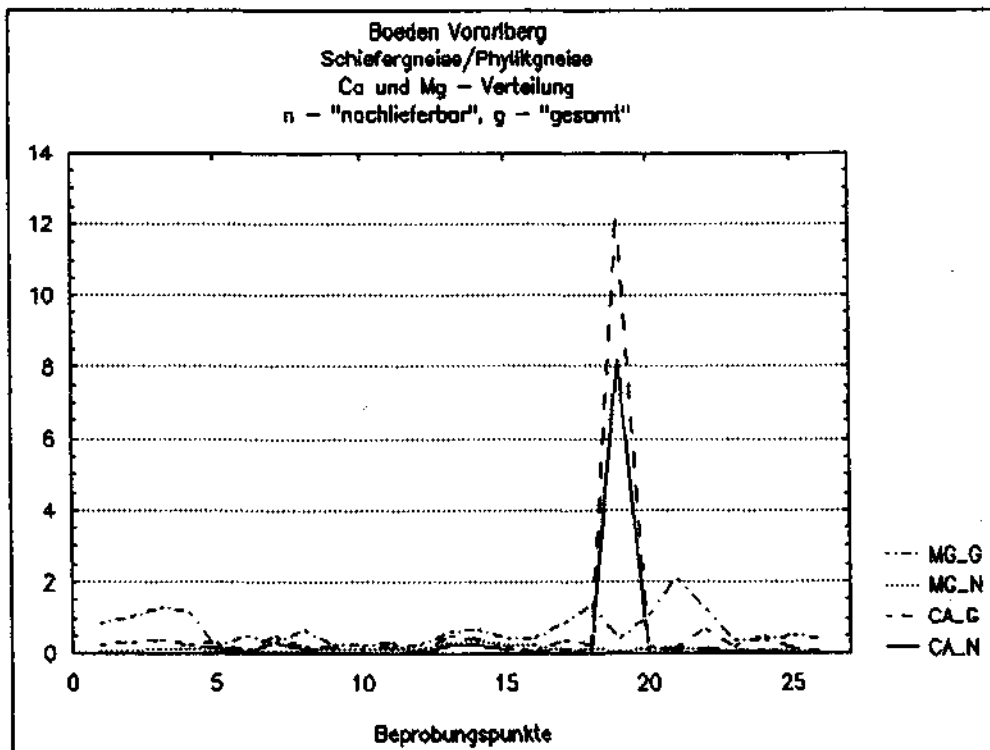
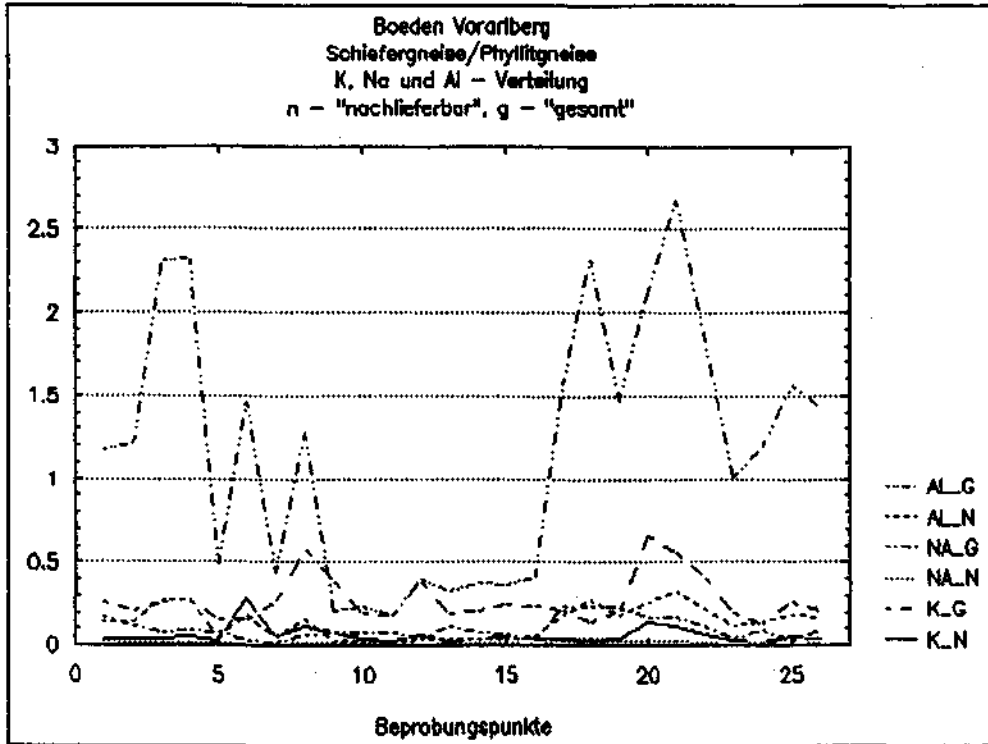


Abb.57: Hauptelementgehalte in Unterböden über Schiefergneis und Phyllitgneis im Montafon

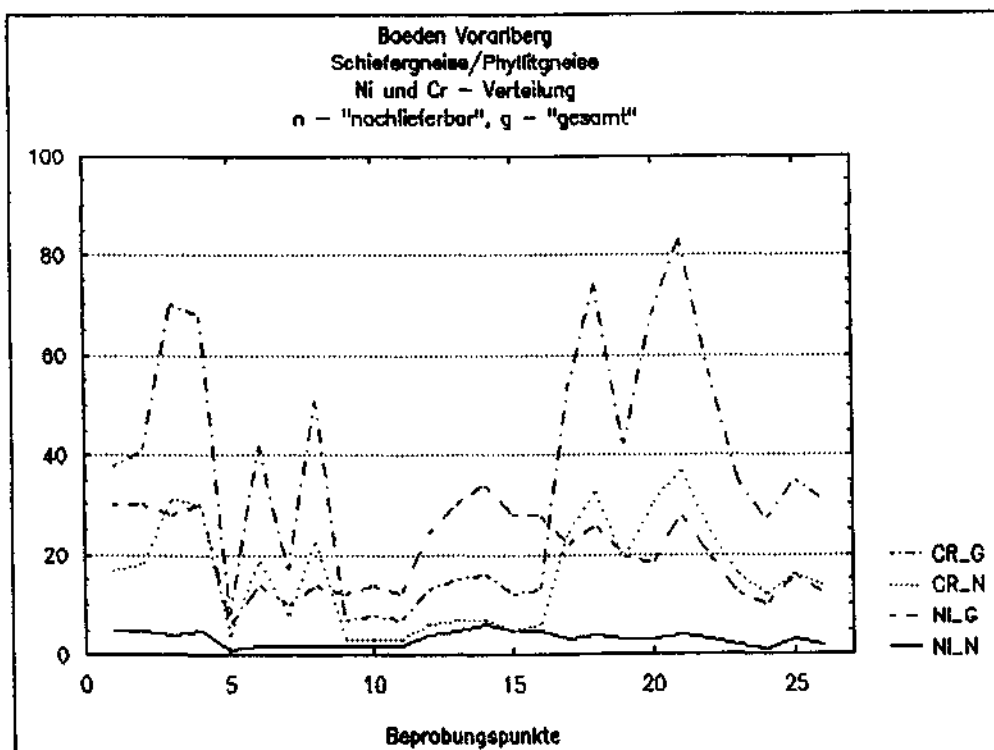
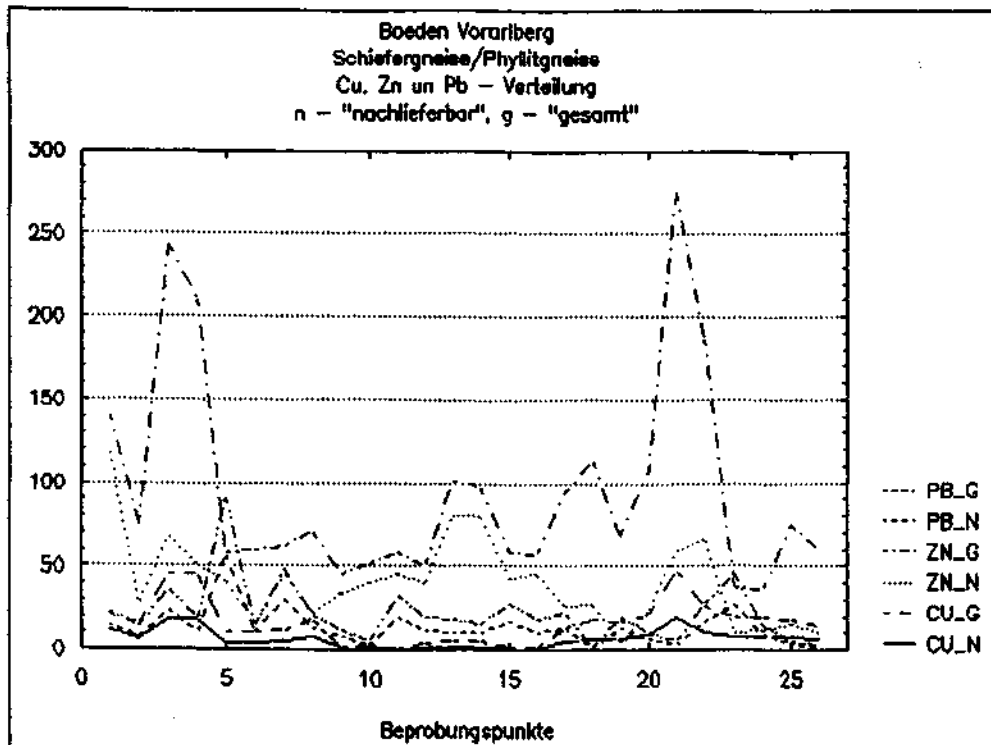


Abb.58: Schwermetallelement-Gehalte in Unterböden über Schiefergneise und Phyllitgneise im Montafon

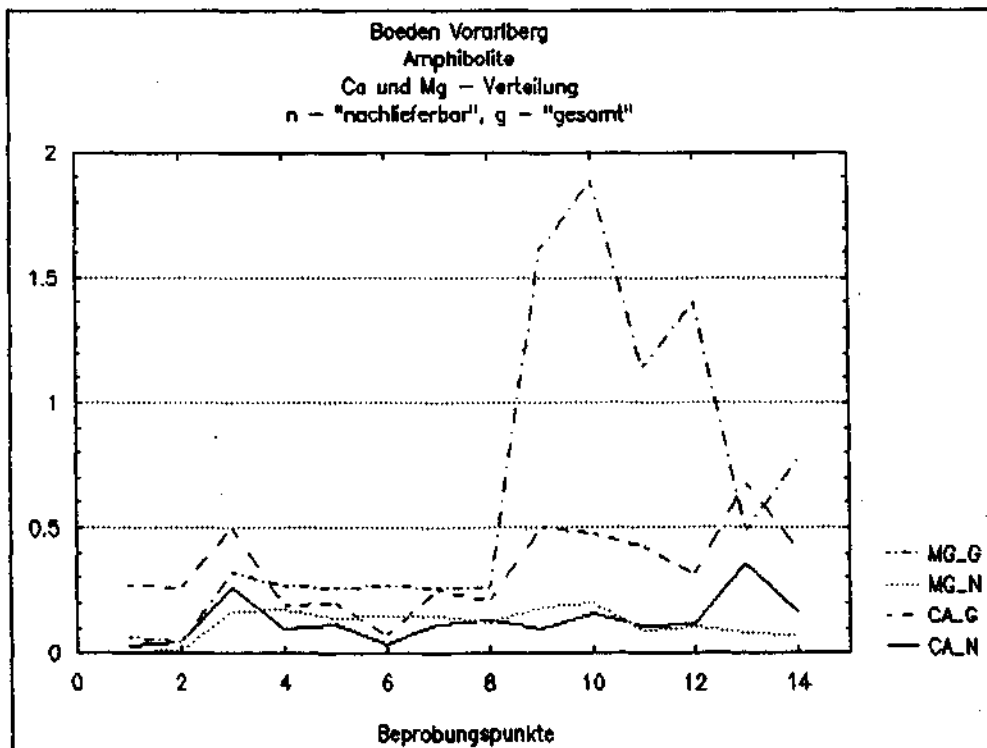
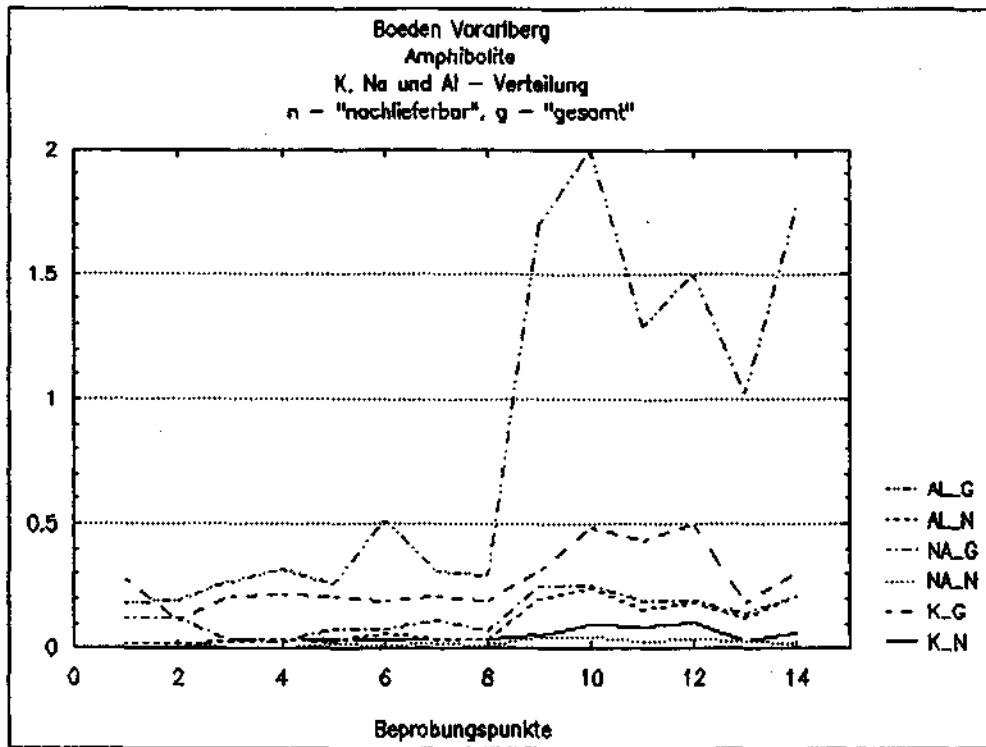


Abb.59: Hauptelementgehalte in Unterböden über Amphibolit im Montafon

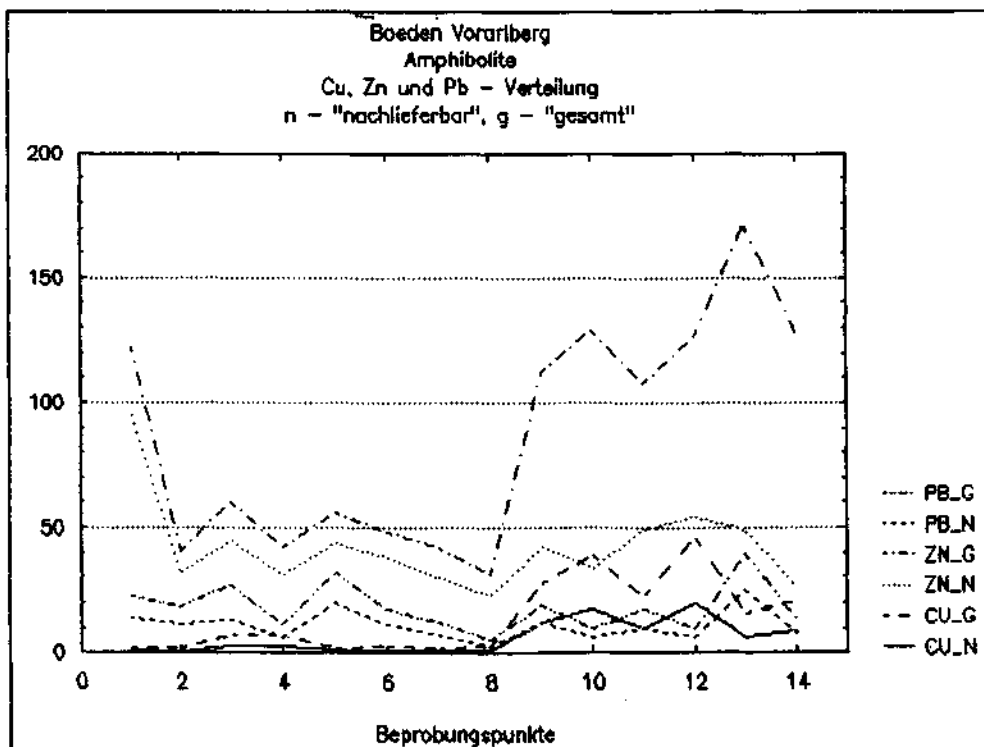
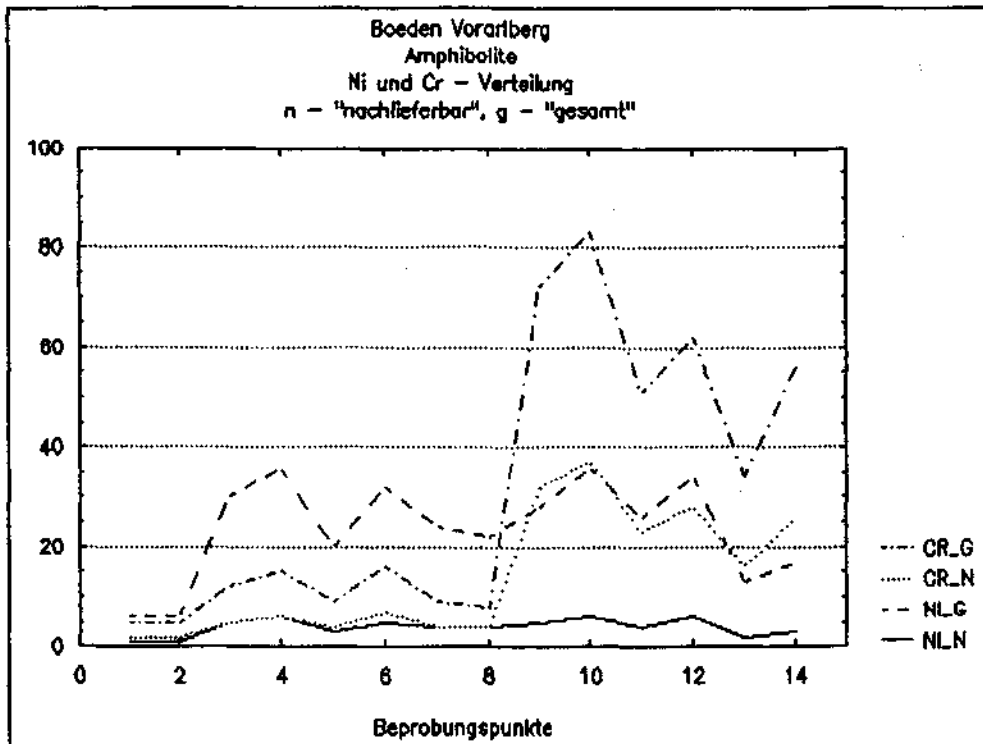


Abb.60: Schwermetallelement-Gehalte in Unterböden über Amphibolit im Montafon

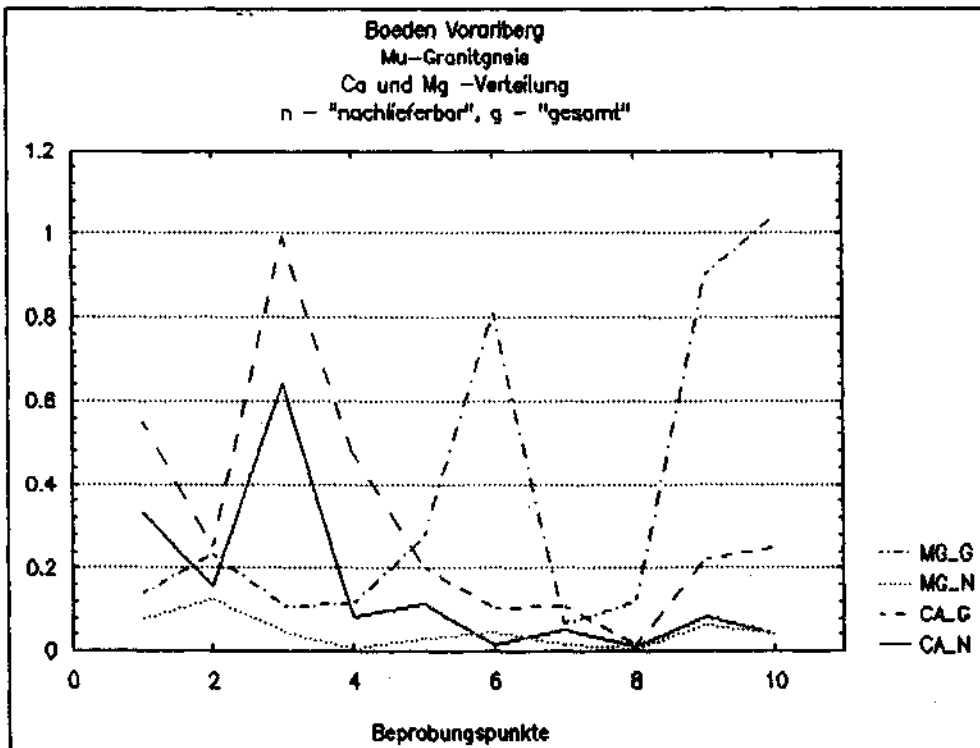
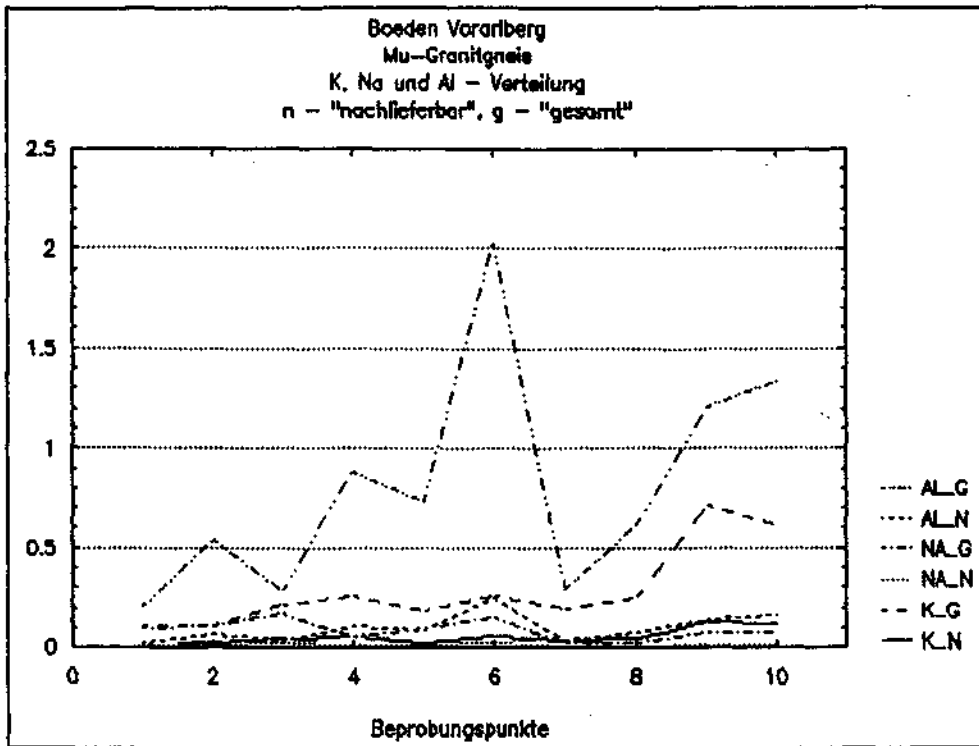


Abb.61: Hauptelementgehalte in Unterböden über Muskowitgranitgneis im Montafon

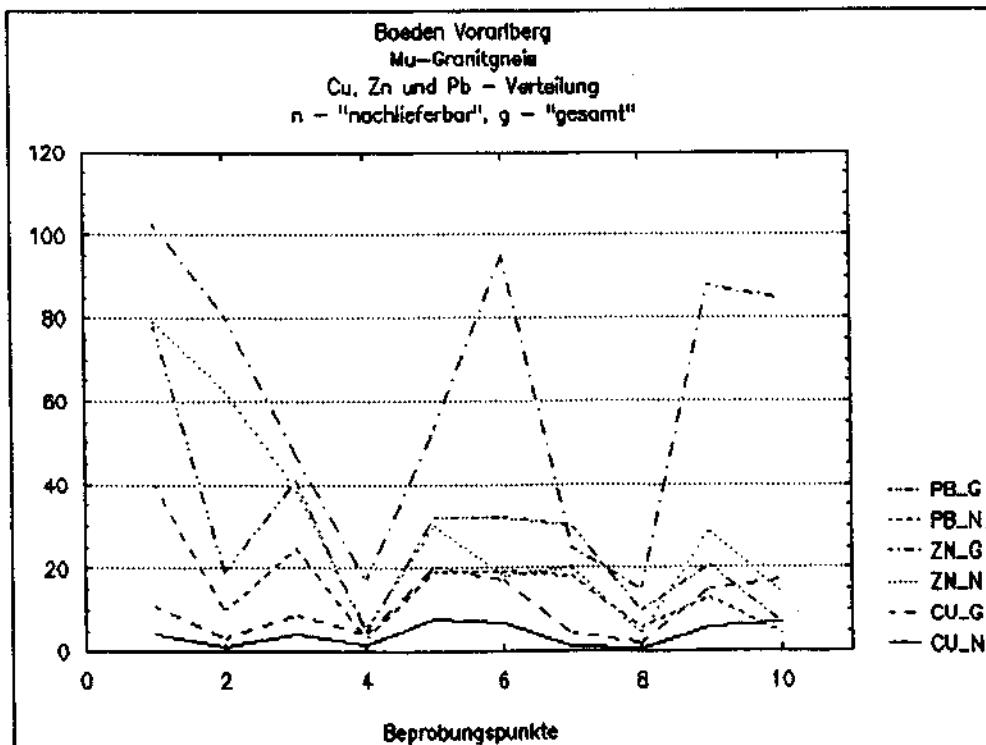
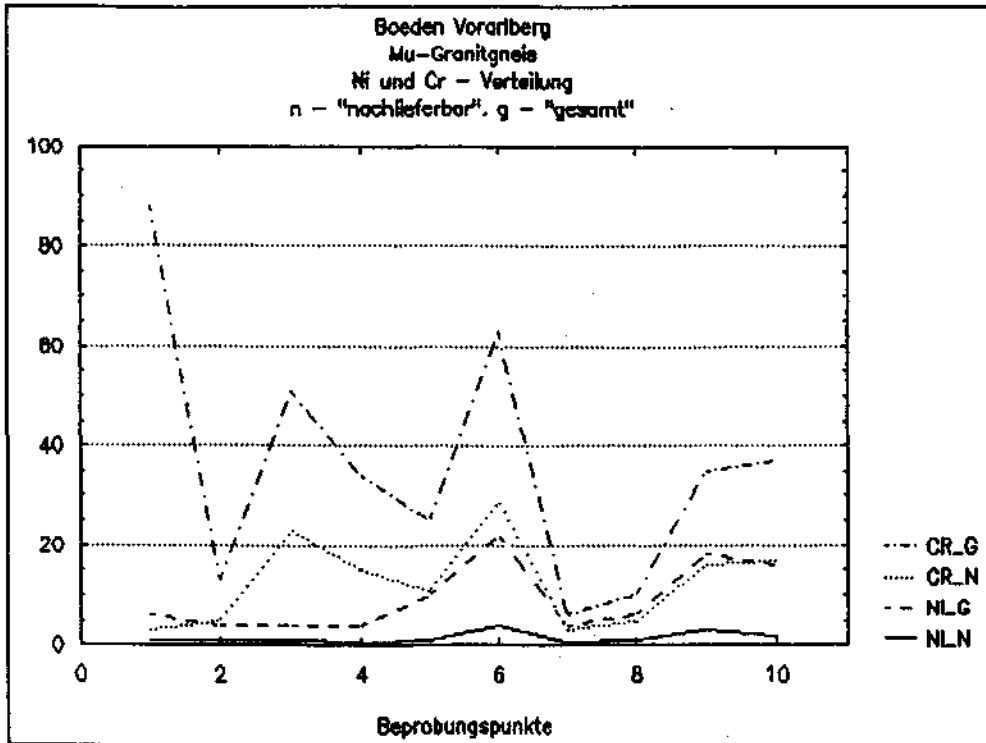


Abb.62: Schwermetallelement-Gehalte in Unterböden über Muskovitgranitgneis im Montafon

5. DATENMEHRFACHNUTZUNG UND SCHNITTSTELLEN ZWISCHEN FACHBEREICHEN

Die Beispiele in den Kapiteln 3 und 4 können nur Anriß und erster Einblick in die Bandbreite der Nutzungsmöglichkeiten geochemischer Daten sein. Schlüsse und Aussagen, die auch über diese Beispiele hinausgehen sind durch eine Fülle von Auswertungen aus verschiedenen Bereichen des Bundesgebietes gestützt und abgesichert.

Dieses letzte Kapitel soll eine Art Zusammenfassung der Umsetzbarkeit und der Anregungen sein, sich geochemischer Daten zu bedienen und damit Schnittstellen innerhalb der Geowissenschaften und zwischen den Geowissenschaften und anderen Disziplinen aufzubauen.

5.1. Ökosystemforschung

Im Zentrum der Ziele der Ökosystemforschung stehen auf der einen Seite die Erfassung von Stoff- und Energieflüssen in definierten Systemen, auf der anderen Seite die Erkenntnis der Funktion von Floren- und Faunengesellschaften in Abhängigkeit von Standorten. Die beiden Ziele verbinden sich jedoch wieder in der Tatsache, daß Stoff- und Energieflüsse wieder stark standortabhängig ablaufen.

Stoff- und Energieumsätze mit hoher Dynamik finden an der Grenze der Geo-Bio-Kreisläufe - dem "Ökoton Verwitterungszone" - d.h. im Bereich, in dem durch physikalisch-chemisch-biologische Vorgänge das mineralisch-geochemische Angebot biologisch verfügbar gemacht werden.

In diesem Grenzbereich laufen sowohl aufbauende, als auch abbauende Reaktionen ab; Dynamik und Trends können zum Teil mit geochemischen Methoden beobachtet und verfolgt werden.

Das Verfolgen dieser Dynamik kann zum Beispiel über den Pfad des Wassers - der Lösungsumsätze erfolgen. So etwa vom Angebot über Aufbereitung/Aufbereitbarkeit, Verfügbarkeit, Verlagerung/Verbrauch, zu Bindung im System oder Austrag aus dem System beobachtet werden.

Eine stärkere Einbindung der Geowissenschaften in Ökosystemforschungen über Methoden und Ergebnisse der Geochemie könnte zur gegenseitigen fachlichen Befruchtung führen.

5.2. Bodenzustandsaufnahmen

Zu Bodenkartierungen und Beurteilungen von Bodenzuständen kann seitens der Geochemie von zwei Seiten zugearbeitet werden:

- a. durch Herausarbeitung des primären Nährstoff- und Spurenelementangebots, und inwieweit unterstützende oder hemmende Faktoren für die Bodenbildung in Abhängigkeit vom Gesteinsuntergrund vorliegen
- b. kann die Erhebung und Darstellung der Ionenkombination in Quellwässern und Kleingerinnen mit seichtem Einzugsgebiet Auskunft über Bodenlösungsverhältnisse unterstützen; insbesondere dann, wenn die Prägung der Wasserchemismen in der Bodenzone die Prägung beim Durchfließen der Gesteinshohlräume überwiegt.

Da zwischen Bodenchemie und Bodenphysik enge Beziehungen bestehen (Strukturbildung und -beständigkeit), bestehen im weiteren auch Rückbeziehungen und Informationsverknüpfungen zwischen qualitativem und quantitativem Wasserhaushalt.

Als unterstützendes Material seitens der angewandten Geochemie stünden zur Verfügung:

- systematisch ausgewertete und verknüpfte Informationen aus gesteins- und Bachsedimentgeochemie mit jeweiligem lokalen und regionalen Bezug
- umfangreiches Datenmaterial über Schwermetallelementverteilungen in Böden nach Gesteinsstandorten und Lithologie
- hydrochemische Analysen werden für zahlreiche Zwecke angefertigt, wurden jedoch in obiger Hinsicht kaum gezielt ausgewertet
- in Verknüpfung mit Immissions- und Depositionsdaten könnten eventuell auch in Boden- und Untergrundsysteme eingetragene Stoffe beim Durchschleusen und in ihren Reaktionen erkannt und eingegrenzt werden

5.3. Trinkwasserschutz/Gewässergüte

Die Mineralisation und Ionenkombinationen von Quellwässern und Oberflächenwässern sind nicht nur Indikatoren im oben angeführten Sinne, sondern auch direkter Untersuchungsgegenstand über den Istzustand eines Ökosystemteils und eines nutzbaren Potentials. Aus der jeweiligen Analytik ist herauszulesen oder soll herauszulesen sein nicht nur der reine Istzustand, sondern auch der Trend von Belastungszuständen, ihre Ursachen, ihre Nachhaltigkeit und die Wirkungen.

Wirkungen in Hinblick

- auf Gefährdung oder Erhaltung der aquatischen Systeme
- auf Änderungen der quantitativen Verhältnisse
- auf Erhaltung der Puffer- und Selbstreinigungskapazität im Verbund Wasser/Sediment
- auf offene Kommunikation Oberflächen-/Grundwasser

Über die Überlegungen im Vorkapitel hinaus kann die Erhebung der chemisch-physikalischen Daten von Wässern direkt auch einen Beitrag zur Modellierung von Abflußvorgängen im Einzugsgebiet beitragen, wenn jeweils ein Konnex zwischen Untergrund-/Böden- und Wasserchemismen hergestellt wird.

Folgende Fragestellungen sind mit dem Problemkomplex verbunden und sind z.T. mit geochemischer Methodik zu hinterfragen:

- Nitrataustrag, nicht nur im Sinne eines Ergebnisses landwirtschaftlicher Produktionstechniken, sondern auch als Indikator für Vorgänge in Waldböden
- Aluminiumaustrag als Produkt extrem versauerter Wald- und Hochgebirgsböden
- Schwermetallmobilisierung und Austrag in Grund- und Oberflächenwässer
- Frage des aktuellen Zustands und der Nachhaltigkeit der Puffer-, Speicher- und Adsorptionskapazität von Bach- und Flußsedimenten gegenüber dem Eintrag aus natürlichen und technogenen Systemen, in Zusammenhang mit den Austauschvorgängen und Reaktionen Wasser/Sediment

5.4. Naturraumpotentialkartierung

Die Empfehlung der ÖROK 1988 definierte die in Österreich zu kartierenden Naturraumpotentiale und ihre Ziele.

Nicht definiert werden konnten bisher die jeweiligen Detailinhalte und die konkrete Durchführung. Dazu wird es notwendig, ökonomisch (zeitlich und finanzielle) erhebliche und mehrfach aussagekräftige Indikatorengruppen herauszuarbeiten, um das Vorhaben umfassender, flächendeckender Aufnahmen überhaupt durchführbar zu machen.

Die vorangegangenen Ausführungen verfolgten unter anderem das Ziel, darzustellen, daß geochemische Analysen sowie ihre Auswertung und Interpretation fach- und problemübergreifender Inhalte für zahlreiche Fragestellungen Indikatoren in der geforderten Art und Weise sein können.

Und dies für mehrere Teil-Naturraumpotentiale

- + Rohstoffpotential
 - Suche und Eingrenzung von Mineralrohstoffen
 - Qualität, Eignung
 - negative Auswirkungen von Konzentrationen
- + Wasserpotential
 - Qualität/Trinkwassereignung
 - bestehende Belastungen/Verursacher/Ursache
 - quantitative und qualitative Situation im Einzugsgebiet
 - Abgrenzung von Schutzgebieten
- + biotisches Ertragspotential
 - primäres Nährstoff- und Spurenelementangebot
 - Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit des Nährstoffangebots
 - Mangelgebiete und Störungen der Stoffflüsse
- + Entsorgungspotential
 - wichtige Beiträge zur "Grenzwert- und critical load - Diskussion"
 - bestehende Belastungen in Bach- und Flußsedimenten/ Ursachen/Verursacher
 - Nachweis und Eingrenzung von Altlasten mit geochemischen Methoden

5.5. Geomedizin

Geochemisches Analysenmaterial ist eine der Basis für Diskussionen geomedizinischer Fragestellungen (im Sinne der Human- und Veterinärmedizin).

Die Problemkreise betreffen dabei physiologisch-toxikologische Wirkungen von

- Überangebot
- Mangel
- kritische Kombinationen

im Nahrungskreislauf, im Wasser, sowie staub und gasförmigen Immissionen.

In jedem Fall steht die Diskussion dieser Problemkreise in Österreich noch am Beginn!

6. AUSGEWÄHLTE LITERATUR

Alber, J.:

Regionale Feststellung des Rohstoffpotentials Bereich ÖK 122 Süd und ÖK 123 Süd.-

Unveröffentl. Bericht Archiv GBA, Wien 1985

Alber, J. & Schermann, O.:

Flußspatprospektion auf hydrochemischer Grundlage in den niederösterreichischen Kalkalpen.-

Unveröffentl. Bericht Archiv GBA, Wien 1983

Amt der Tiroler Landesregierung:

Bericht über den Zustand der Tiroler Böden 1988.-

Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck 1989

Bachhaus, K. et al.:

Multivariate Analysenmethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung.-

5. revid. Auflage, Springer Berlin 1989

Bertle, H.:

Reinkarbonatlagerstätten im Rätikon.-

Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.A., 2, 7-14, Wien 1982

Bowie, S. & Thorton, I.:

Environmental Geochemistry and Health.-

D. Reidel Publishing Comp., Dordrecht 1985

Brechtel, H.M. (Herausg.):

Immissionsbelastung des Waldes und seiner Böden - Gefahr für die Gewässer.-

DVWK Mitteilungen, 17, Bonn 1989

Ellenberg, H., Mayer, R. & Schaueremann, J.:

Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986.-

Ulmer, Stuttgart 1986

Englisch, M., Kilian, W. & Mutsch, F.:

Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Erste Ergebnisse.-

FBVA-Berichte, 48, Wien 1991

Fauth, H. et al.:

Geochemischer Atlas Republik Deutschland. Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten.-

Bundesanstalt f. Geow. und Rohstoffe, Hannover 1985

Flury, B. & Riedwyl, H.:

Angewandte multivariate Statistik. Computergestützte Analyse mehrdimensionaler Daten.-

G. Fischer, Stuttgart 1983

- Hackl, A. & Malissa, H.:
Schwermetalle in der Umwelt.-
Schriftenreihe der Technischen Universität Wien, 17, Wien 1980
- Hein, U.:
Zur Geochemie des Fluors in alpinen Pb-Zn-Lagerstätten.-
Arch.f.Lagerst.forsch.Geol.BA, 6, Wien 1985
- Heinrich, D. & Hergt, M.:
dtv-Atlas zur Ökologie.-
dtv, München 1990
- Hölting, B.:
Hydrogeologie.-
3.Auflage, Enke Stuttgart 1989
- Horak, O. & Zvacek, L.:
Mikronährstoffe, toxische Schwermetalle und Aluminium in
Waldökosystemen.-
Unveröffentl. Forschungsbericht, Österr.Forschungszentrum
Seibersdorf, Wien 1987
- Husz, G.:
Bodenuntersuchung aus Umweltsicht in Vorarlberg.-
Bericht im Auftrag der Vorarlberger Umweltschutzanstalt, Wien
1986
- Husz, G.:
Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986.-
Lebensraum Vorarlberg, 2, Bregenz 1987
- Kazda, M., Glatzel, G. & Lindebner, L.:
Schwermetallanreicherung und -mobilität in Waldböden.-
Mitt.Österr.Geol.Ges., 79, Wien 1986
- Klein, P. & Pirkl, H.:
Schwermetalle in Böden.-
Mitt.Österr.Geol.Ges., 79, Wien 1986
- Kollmann, W.:
Hydrogeologische Untersuchungen in den nördlichen
Gesäusebergen.-
Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 66, Graz 1983
- Kralik, M. & Sager, M.:
Umweltindikator "Schwermetalle". Gesamtgehalte und Mobilität in
österreichischen Donausedimenten.-
Mitt.Österr.Geol.Ges., 79, Wien 1986
- Kürzl, H. et al.:
EDV-gestützte Primärauswertung der Teilprojekte KC6/82, SC2c/82,
StC1d/82, TC4b/82: Datenanalyse für regionale geochemische
Untersuchungen - eingesetzte statistische Methoden und
Auswertungssysteme.-
Unveröffentl.Bericht im Auftrag BMWuF, Archiv GBA, Leoben 1985

Kürzl, H. Reimann, C. & Wurzer, F.:

Die Identifikation von Umweltbelastungen aus regionalen
Geochemiedaten - Möglichkeiten der multivariaten
Datenauswertung.-

Mitt.Österr.Geol.Ges., 79, Wien 1986

Landesamt f. Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen:

Sedimentuntersuchungen in Fließgewässern (1978-1983).-

LWA Schriftenreihe, 41, Düsseldorf 1986

Leser, H.:

Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung.-

3.vollst.neubearb.Auflage, Ulmer Stuttgart 1991

Lobitzer, H. & Surenian, R.:

Geologische Untersuchungen an ausgewählten Vorkommen von Dolomit
im Bundesland Salzburg.-

Arch.f.Lagerst.forsch.Geol.BA, 5, Wien 1984

Malecki, G. et al.:

Flußspatprospektion in der weiteren Umgebung des Bergbaues
Achselalpe-Flecktrogalpe (Salzburg).-

Unveröffentl.Bericht Archiv GBA, Wien 1979

Malecki, G.:

Rohstoffpotential Rechnitzer Schieferinsel und Vorland.-

Berichte der Geol.Bundesanstalt, 11, Wien 1987

Mason, B. & Moore, C.B.:

Grundzüge der Geochemie.-

Enke, Stuttgart 1985

Merian, E. (Herausg.):

Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische
Relevanz.-

Verlag Chemie, Weinheim 1984

Mostler, H. et al.:

Untersuchung von Erzlagerstätten im Innsbrucker Quarzphyllit und
auf der Alpeiner Scharte.-

Unveröffentl.Bericht Archiv GBA, Innsbruck 1979

Müller, G.:

Schadstoffe in Sedimenten - Sedimente als Schadstoffe.-

Mitt.Österr.Geol.Ges., 79, Wien 1986

Müller, G. & Wimmer, W.:

Schwermetallgehalte in Sedimenten oberösterreichischer
Fließgewässer.-

Amtlicher Oberösterreichischer Wassergüteatlas, 14, Linz 1987

Murray, R.S.:

Statistik.-

2.überarb. und erw.Auflage, Schaums Outline, Mc Graw-Hill
Hamburg 1990

**Österreichische Raumordnungskonferenz:
Empfehlungen zur Erstellung von Naturraumpotentialkarten.-
ÖROK, Wien 1988**

**Pirkl, H.:
Bestandsaufnahme des Rohstoffpotentials Osttirols .-
Unveröffentl.Bericht Archiv GBA, Wien 1984**

**Pirkl, H.:
Regionale Feststellung des Rohstoffpotentials Bereich Blatt
Wörgl und Blatt Neukirchen a.G.-
Unveröffentl.Bericht Archiv GBA, Wien 1984**

**Pirkl, H.:
Rohstoffpotential Semmering-Wechselgebiet.-
Berichte der Geol.Bundesanstalt, 4, Wien 1986**

**Pirkl, H.:
Auswertung und Integration der im Rahmen der Rohstoffforschung
1978-1985 erarbeiteten Projektberichte.-
Berichte der Geol.Bundesanstalt, 1, Wien 1986**

**Pirkl, H.:
Bemerkungen zur Feststellung und Verwendung von
Schadstoffgrenzwerten für Böden und Grundwasser in alpinen
Ökosystemen.-
Jb.Geol.BA, 133, Wien 1990**

**Pirkl, H.:
Versuche zur Interpretation von bachsedimentgeochemischen Daten
aus Bereichen des Weinsbergergranits - Grenzen und
Möglichkeiten.-
Unveröffentl.Bericht im Auftrag Voest-Alpine, Wien 1990**

**Pirkl, H.:
Hydrogeologisch-hydrochemische Charakteristik kleiner
Einzugsgebiete verschiedener geologischer Serien im Umfeld von
Treibach-Althofen (Krappfeld).-Unveröffentl.Bericht im Auftrag
Voest-Alpine, Wien 1991**

**Pirkl, H.:
Massenbewegungen und Grundwasserschutz in den alpinen Tälern -
Schnittpunkte in der Ökosystemforschung.-
Mitt.Österr.Geol.Ges., 83, Wien 1991**

**Pirkl, H.:
Geochemische Charakterisierung typischer Einzugsgebiete in den
geologischen Großeinheiten der Region Amstetten-Waidhofen
a.d.Y.-
Unveröffentl.Bericht im Auftrag d.Amtes der NÖ.Landesregierung,
Wien 1991**

Pirkl, H.:

Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen Hanginstabilitäten und -labilitäten, Hangwasserhaushalt und Massenbewegungen in Teilen des Zentralalpenkristallins.-Unveröffentl.Bericht im Auftrag des BMWuF, Wien 1991

Pirkl, H.:

Flächenhafter Zusammenhang zwischen Waldzustand-Bodenzustand und Ionenaustauschvorgängen im tieferen Untergrund montaner und subalpiner Ökosysteme (Beispielsbereich Löhnersbach/Glemmtal).-Unveröffentl.Bericht im Auftrag BMWuF, Wien 1991

Pirkl, H.:

Ansatz zu einer geohydrologischen Charakterisierung von Teileinzugsgebieten im Löhnersbachtal (Saalbach).-Unveröffentl.Bericht im Auftrag d.Österr.Akademie d.Wiss./Hydrologie Österreich, Wien 1991

Pirkl, H. & Kralik, M.:

Ergebnisse einer umweltgeochemischen Flußsedimentbeprobung im südlichen Wiener Becken und nördlichen Wechsel.-Berichte der Geol.Bundesanstalt, 12, Wien 1988

Rehfuess, K.E.:

Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung.-2.Auflage, Pareys Studientexte 29, Parey Hamburg & Berlin 1990

Reimann, C.:

Aussagekraft der geochemischen Basisaufnahme. Mineralogische, geochemische und statistische Detailuntersuchungen an Bachsedimenten im alpinen Bereich.-Berichte der Geol.Bundesanstalt, 10, Leoben 1987

Richter, J.:

Modelle für Prozesse im Boden. Programme und Übungen.-Enke, Stuttgart 1988

Ruppert, H.:

Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns.-GLA Fachberichte, 2, München 1987

Ruppert, H.:

Natürliche Spurenmetallgehalte im Boden und ihre anthropogene Überprägung.-Mitt.Österr.Geol.Ges., 83, Wien 1991

Schachtschabel, P. et al.:

Lehrbuch der Bodenkunde.-12.neu bearbeitete Auflage, Enke Stuttgart 1989

Schermann, O.:

Bericht 1975 über hydrochemische Untersuchungen auf Fluorgehalte in Bachwässern auf den Blättern 34 Perg und 35 Königswiesen.-Verh.Geol.BA, 1976, Wien 1976

- Schermann, O. et al.:
Erforschung geochemischer Prospektionsmethoden in
Karbonatgesteinen.-
Unveröffentl. Bericht Archiv GBA, Wien 1983
- Schramm, U.:
Geohydrologische Untersuchungen im Hausruck (Oberösterreich).-
Forschungsarbeiten Wasserwirtschaft-Wasserversorgung, 7, BMLF
Wien 1989
- Schroll, E.:
Analytische Geochemie.-
Enke, Stuttgart 1975
- Schroll, E.:
Geochemie und Humanmedizin.-
Mitt. Österr. Geol. Ges., 79, Wien 1986
- Smidt, St.:
Messungen der nassen Deposition in Österreich.-
FBVA-Berichte 27, Wien 1988
- Späth, H.J.:
Geoökologische Praktikum.-
UTB 607, Schöningh Paderborn 1976
- Thalman, F. et al.:
Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1,000.000.-
Geol. Bundesanstalt, Wien 1989
- Voigt, H.J.:
Hydrogeochemie.-
Springer, Berlin 1990
- Warnecke, G.:
Meteorologie und Umwelt. Eine Einführung.-
Springer, Berlin & Heidelberg 1991
- Weinzierl, O. & Wolfbauer, J.:
Unterscheidung geogener und anthropogener
Schwermetallbelastungen in alpinen Böden mittels
Hauptkomponentenanalyse.-
Mitt. Österr. Geol. Ges., 83, Wien 1991