

Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallbelastungen in alpinen Böden mittels Hauptkomponentenanalyse

Von Otto WEINZIERL und Jürgen WOLFBAUER*)

Mit 5 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung

In einem Untersuchungsvorhaben wurde die Aussagekraft und entsprechende Parameteroptimierung einer bodengeochemischen Prospektion im Vergleich zu Bachsediment- und lithochemischer Prospektion im alpinen Raum überprüft. Dazu erfolgte im bekannten Vererzungsgebiet der Walchen bei Öblarn/Stmk. eine umfangreiche Boden- und Gesteinsbeprobung. Ergebnisse einer Bachsedimentbeprobung lagen bereits vor. Insgesamt wurden an 773 Probenpunkten, verteilt über 90 km² alpinen Wald- und Almgebietes, Boden- und Gesteinsproben genommen.

Bereits die univariate explorative Datenanalyse ließ vermuten, daß sich in den Bodenproben (B-Horizonte) offensichtlich nicht nur geogene Schwermetallgehalte abbildeten, weil Teilbereiche des Untersuchungsgebietes Schwermetallanreicherungen im Unterboden aufwiesen, die aus dem geologischen Bild nicht ableitbar waren und einer weiteren Aufklärung bedurften. Archivberichte für jahrhundertelange Bergbau- und Verhüttungsaktivitäten, ständig begleitet von Beschwerden der Bauern über den Hüttenrauch, der ihnen Wiesen und Wälder zerstöre, gaben einen Hinweis zur Untersuchung einer möglichen anthropogenen Überlagerung auf die ohnehin vererzungsbedingt-anormale Schwermetallbelastung der Böden in diesem Gebiet. Zusätzlich unterstützt das vorliegende Bild der regional-klimatischen Verhältnisse und die lokale Morphologie eine Immissionshypothese.

Zur Überprüfung dieser Annahme wurden vergleichende Hauptkomponentenanalysen von Schwermetallgehalten der Gesteins- und der Bodenproben des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Die beiden ersten Hauptkomponenten der Bodenanalysen zeigen zwei dominante Elementassoziationen auf. Diese können bei Einbeziehung des Wissensstandes um lokale Vererzungstypen sowie der morphologischen und klimatischen Verhältnisse als vererzungs- und immissionsanzeigende Gruppierungen interpretiert werden.

Im Gegensatz dazu bestätigt die Hauptkomponentenanalyse der Gesteinsanalysen weitgehend das bekannte geologische Bild. Der sehr wahrscheinlich anthropogen verursachte Anomaliebereich im Süden des Untersuchungsgebietes fehlt.

Eine abschließende hypothetische Emissionsbilanzierung stellt einen plausiblen Zusammenhang zum vermuteten Immissionsbild im Boden dar.

*) Adresse der Verfasser: Mag. Otto WEINZIERL und Univ.-Prof. Dr. Jürgen WOLFBAUER, Forschungsinstitut für Geodatenerfassung und -systemanalyse, Montanuniversität, Roseggerstraße 15, A-8700 Leoben, Österreich.

Abstract

In an orientation survey the utilization of soil sampling was compared to stream sediment and lithochemical prospecting in mountainous areas. Detailed soil and rock sampling was performed in the surroundings of the Walchen mineralization near Öblarn in the province of Styria. The results of a stream sediment survey were already known. Soil and rock samples were taken at 773 locations in alpine pastures and woods.

The results of an univariate data analysis already show that there are some areas with high heavy metal contents in the B-horizon of the soil, where it cannot be explained geologically but seems to reflect another source of heavy metals. Records about mining and smelting activities in this region for centuries mention constant complaints of farmers about the smoke of the smelting plant that would ruin their woods and pastures. This gives a hint to investigate for a human influence on the, due to the mineralization anyhow high, heavy metal contents in the soils of this area. In addition the local climate and morphology both support a hypothesis of a partial atmospheric input of heavy metals.

To check this hypothesis comparative Principal Components Analysis is applied to the heavy metal contents of rock and soil samples of the study area. The first two principal components of the soil samples show two distinct associations of elements. Based on the information about local mineralization-types, climate and morphology, these associations of elements may be interpreted as groupings indicating mineralizations and atmospheric input.

In contrast to these groupings the Principal Component Analysis of the heavy metal contents of the rock samples only confirms the known geological setting. The probable anthropogenic heavy metal anomaly in the southern part of the study area is missing.

Concluding a hypothetical estimation of the emissions of the local smelting plant is given to back up the proposed hypothesis of atmospheric heavy metal input.

1. Einführung

Die Belastung des Bodens durch Schwermetalle aus Aktivitäten des heutigen Menschen (Industrie, Verkehr, Landwirtschaft) ist ein Umweltfaktor, der erst langsam in das Bewußtsein der Bevölkerung und öffentlichen Entscheidungsträger dringt. Die landesweite Aufnahme dieser Umweltbelastung ist in mehreren Ländern Europas seit wenigen Jahren in Planung bzw. in Gang. Ausschlaggebend für diese Maßnahmen sind Befürchtungen um langzeitliche und kaum wieder behebbare Kontaminationen des Bodens, die eine erhebliche Schädigung von lebensnotwendigen Kreisläufen erwarten lassen (FIEDLER & RÖSLER 1988).

Für Österreich stellt sich die Ausgangsposition etwas anders dar. In unserem Land gibt es neben den Belastungen der modernen Industrie auch solche aus jahrhundertelangen, intensiven und weitverbreiteten Bergbauaktivitäten. Besonders Geowissenschaftlern ist gewärtig, daß es kaum ein Tal gibt (das heute oft völlig naturbelassen scheint) in dem nicht schon Bergbau betrieben wurde (KÜRZL et al. 1985b, SCHABL et al. 1987). Diese intensive Bergbautätigkeit hat seit dem Mittelalter die ohnehin vorhandenen geogenen Schwermetallbelastungen noch vergrößert und verschleppt. Es kommt also zu den heute anfallenden Belastungen des Bodens ein unbekanntes „Erbe“ aus der Vergangenheit, dessen sich kaum jemand bewußt ist, das aber gerade in Hinsicht auf die Festlegung von Grenzwerten für

zulässige Schwermetallbelastungen im Boden überaus problematisch ist. So liegen im folgenden Beispiel in zirka 70 Prozent der Bodenproben des Gesamtgebietes die Werte für Chrom und Arsen über den international als tolerierbar eingeschätzten Grenzwerten (ADRIANO 1986, FIEDLER & RÖSLER 1988, KLOKE 1980). Dabei sind die Arsengehalte klar in Zusammenhang mit der Walchener Vererzung und deren Gewinnung zu bringen. Die „nicht tolerierbaren“ Cr-Werte gehen jedoch auf die relativ hohen Chromgehalte der weit verbreiteten Grünschiefer- und Amphibolitzüge zurück (REIMANN 1989).

2. Arbeitsgebiet und Datengewinnung

Die untersuchten Boden- und Gesteinsproben wurden in einem 90 km² großen Gebiet rund um die polymetallische Sulfidvererzung Walchen im Walchental genommen. Das Arbeitsgebiet liegt in den Wölzer Glimmerschiefern, im Norden teilweise im Grenzbereich zu den Ennstaler Phylliten. In den Wölzer Glimmerschiefern treten im Südteil des Untersuchungsgebietes häufig Marmore und vereinzelt Amphibolitzüge auf (PEER 1988, 1989, SCHLÜTER et al. 1984, UNGER 1968).

Lage des Untersuchungsgebietes in Österreich



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes in Österreich.

Die Boden- und Gesteinsprobenahme erfolgte kleinräumig mit acht Proben/km² nach einem starren Flächenraster mit frei wählbarem Probenpunkt innerhalb einer Rasterzelle. Als beprobter Bodenteil wurde der B-Horizont über seine gesamte Mächtigkeit genommen. Die Probenmenge betrug zirka 2 kg. Die Proben wurden luftgetrocknet und anschließend auf die Fraktion < 0,18 mm gesiebt. Die Gesteinsproben wurden parallel zu den Bodenproben am Probenahmeort gewonnen. Die Proben wurden mit NAA und ICP-Multielementanalytik auf 27 Elemente analysiert. Zusätzlich wurden Glühverlust, CO₂-Gehalt, pH, Eh und Leitfähigkeit an den Bodenproben bestimmt (REIMANN 1989).

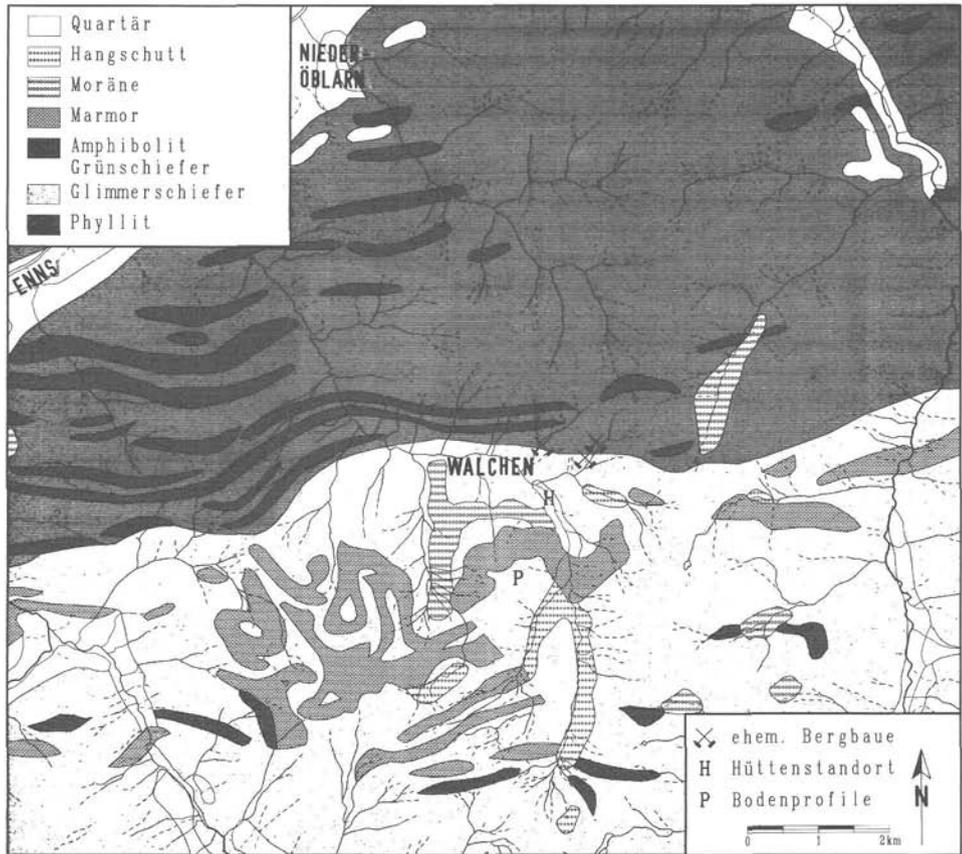


Abb. 2: Lithologische Übersichtskarte des Arbeitsgebietes. X bezeichnet die Lage ehemaliger Bergbaue, H den Standort der Hüttenanlagen der Walchen. P die Lage von Detailprofil-Analysen.

3. Ergebnisse der univariaten Meßwertkartierung

In den ersten Stufen der Datenauswertung und Dokumentation wurden alle analysierten Elemente und die im Gelände bzw. Labor erhobenen Meßwerte (pH, Eh, Leitfähigkeit) in univariaten geochemischen Karten dargestellt (REIMANN 1986, 1988, 1989). Es zeigte sich, daß sich bei mehreren vererzungstypischen Elementen die Walchener Schwermetallanomalie nach Süden fortsetzte. Beispiele für dieses Verhalten sind in Abb. 3 As und Cu.

Die Tatsache, daß sich diese N – S verlaufende Anomalie normal zum generellen O – W Streichen und über stark differenzierende Lithologien (Glimmerschiefer, Marmore, Grungesteine) lückenlos erstreckte, ließ Zweifel am geogenen Ursprung dieser Anomaliefortsetzung aufkommen.

Um zusätzliche Informationen aus den Analysendaten zu erhalten, wurde daher ein Verfahren der multivariaten Datenanalyse eingesetzt (KÜRZL et al. 1986).

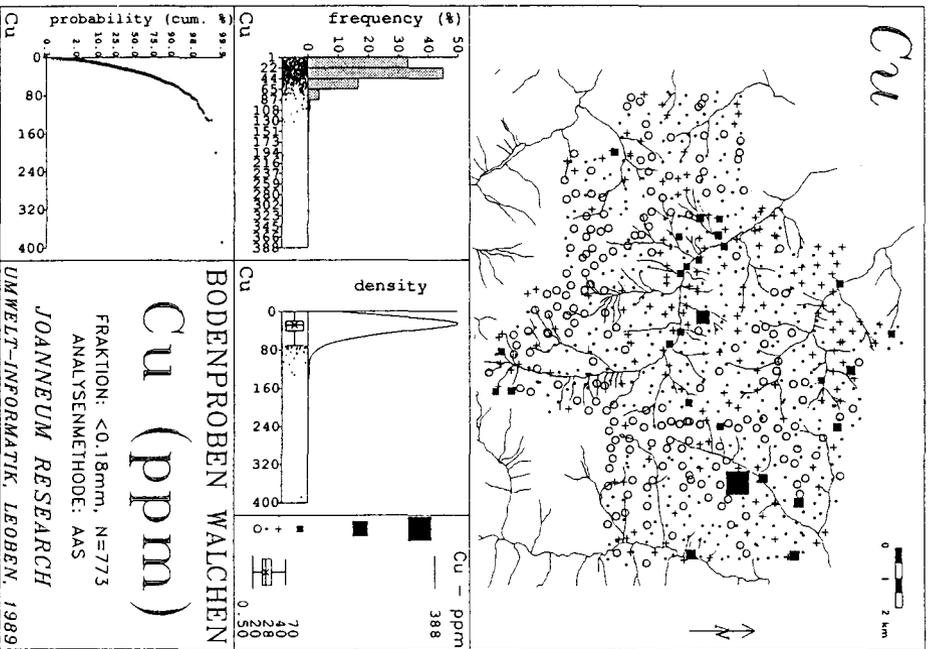
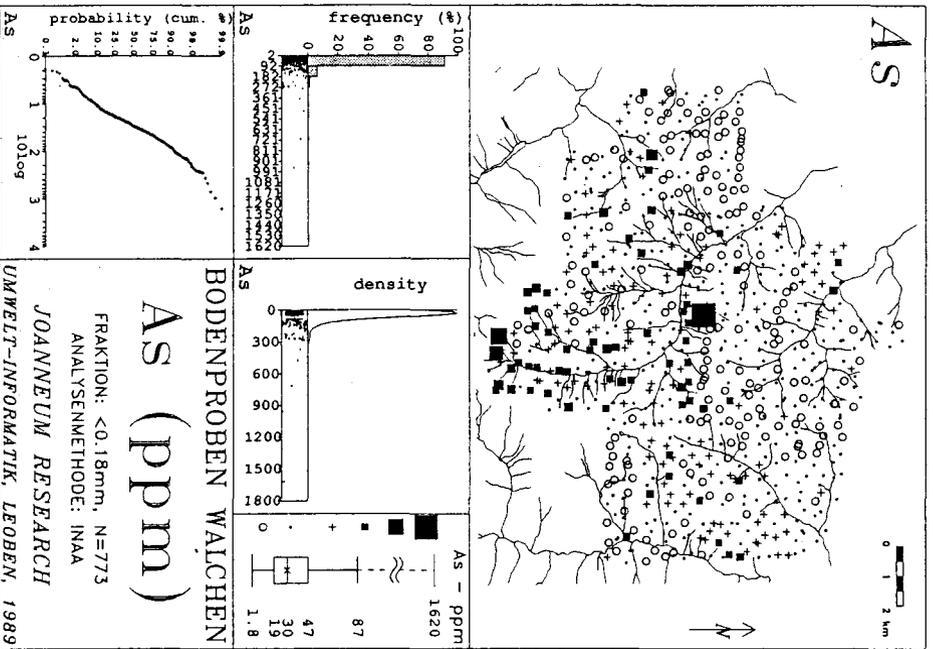


Abb. 3: Univariate ausreißerbetonte Kartierung der Analysenwerte für die Elemente As und Cu. Auffallend sind die örtlich unterschiedlichen Anomaliebereiche.

4. Hauptkomponentenanalyse

Die Hauptkomponentenanalyse wurde in diesem Fall eingesetzt, weil sie die einzige parameterfreie Methode der multivariaten explorativen Datenanalyse — EDA (TUKEY 1979) ist. Sie beruht auf keiner angenommenen Datenverteilung, sondern ist lediglich eine, zwar komplexe, Datentransformation (KÜRZL et al. 1985a, ROCK 1988, WURZER 1988). Sie dient hier der Hervorhebung von Elementgruppierungen innerhalb geochemischer Daten.

Für die aktuelle Problematik des Bodenschutzes soll dieses Fallbeispiel zeigen, daß es mit Verfahren der multivariaten Datenanalyse möglich ist, geogene und antropogene Belastungen in ihren Multielementmustern zu unterscheiden (KÜRZL et al. 1986). Diese Unterscheidungsmöglichkeit ist eine Voraussetzung für die Abschätzung von Notwendigkeit und Durchführbarkeit von Sanierungsmaßnahmen.

4.1. Methodik der Hauptkomponentenanalyse

Die Hauptkomponentenanalyse (ROCK 1988, SRIVASTAVA et al. 1983, WURZER 1988) ist eine Datentransformation basierend auf der Korrelations- oder Kovarianzmatrix. Aus mehreren Einzelvariablen werden gleich viele neue „kanonische“ Variablen erzeugt, welche das Datenkollektiv beherrschende, und nach Vorwissen interpretierbare Elementgruppierungen repräsentieren. Dabei gehen die einzelnen Ausgangsvariablen gemäß ihres Einflusses an der Gesamtvarianz des Datensatzes in diese neuen Variablen ein. Der Einfluß der Ausgangsvariablen in den neuen Variablen ist an den Ladungen der Eigenvektoren, die die mehrdimensionale Datenverteilung beschreiben, erkennbar. Dadurch werden die bestimmenden Elementgruppierungen aufgezeigt. Die Signifikanz der Ladungen ist vom Bearbeiter entsprechend dem Auswertungsziel zu definieren bzw. zu gewichten.

Ein weiterer Gesichtspunkt der Datentransformation ist die Reduktion der Dimensionen, weil aus den Einzelvariablen zwar gleich viele neue Variablen entstehen, einige wenige aber einen Großteil der Varianz des gesamten Datensatzes ausdrücken. In der Geochemie erweisen sich 60 bis 80 Prozent erklärte Variabilität als ausreichend (KÜRZL et al. 1985a). Damit sind im Regelfall die ersten beiden neu erhaltenen Variablen repräsentativ für den gesamten Datensatz.

Voraussetzung für eine Hauptkomponentenanalyse ist eine (ev. multivariate) Standardisierung der Ausgangsdaten. Variable mit unterschiedlichen Wertebereichen werden unter Verwendung eines Streuungs- und Mittelwertschätzers auf ein gemeinsames Niveau gebracht, um in der multivariaten Datenanalyse gleichwertig behandelt zu werden.

4.2. Hauptkomponentenanalyse der Bodenproben

Nach erfolgter multivariater Standardisierung wurde eine Hauptkomponentenanalyse der Bodenschwermetallwerte für die Elemente Cr, Ni, As, Sb, Cu, Zn, Pb, Mn und Co durchgeführt. Diese Elemente repräsentieren eine Elementgruppierung wie sie für die Walchener Vererzung und ihre Begleitlithologie bzw. polymetallische Vererzungen im allgemeinen typisch ist. Eine wesentliche Beschränkung bei der Auswahl der Elemente für die Hauptkomponentenanalyse ist einerseits das Spektrum der analysierten Elemente sowie andererseits eine zahlenmäßige Beschränkung auf neun bis zehn Elemente zur Vermeidung numerischer Probleme bei der Berechnung. Die Einzelfaktoren der Datentransformation sind in Tab. 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Ausgangswerte und Faktoren der Datentransformation der Hauptkomponentenanalyse.

HAUPTKOMPONENTENANALYSE

Korrelationsmatrix

	Cr	Ni	As	Sb	Cu	Zn	Pb	Mn	Co
Cr	1,000								
Ni	0,690	1,000							
As	-0,077	0,001	1,000						
Sb	0,239	0,095	0,238	1,000					
Cu	0,390	0,737	0,175	0,189	1,000				
Zn	0,341	0,706	0,052	0,057	0,646	1,000			
Pb	-0,166	-0,286	0,268	0,611	-0,123	-0,204	1,000		
Mn	0,262	0,463	0,042	0,197	0,407	0,523	-0,086	1,000	
Co	0,629	0,906	0,006	0,091	0,678	0,693	-0,297	0,559	1,000

Eigenvektoren

Var.	1. Ev.	2. Ev.	3. Ev.	4. Ev.	5. Ev.	6. Ev.	7. Ev.	8. Ev.	9. Ev.
Cr	0,339	0,017	0,534	0,410	-0,359	0,159	-0,022	0,505	0,149
Ni	0,469	-0,047	0,076	0,181	0,079	0,068	0,207	-0,266	-0,784
As	0,020	0,419	-0,668	0,456	-0,398	0,095	-0,042	-0,003	-0,015
Sb	0,081	0,637	0,340	-0,082	0,013	-0,252	-0,561	-0,292	-0,046
Cu	0,400	0,106	-0,218	0,122	0,471	-0,620	0,122	0,351	0,147
Zn	0,403	-0,014	-0,246	-0,221	0,353	0,605	-0,443	0,190	0,074
Pb	-0,142	0,627	0,147	-0,130	0,275	0,342	0,582	0,129	0,029
Mn	0,318	0,098	-0,127	-0,708	-0,529	-0,155	0,146	0,198	-0,087
Co	0,464	-0,050	0,037	0,042	-0,068	0,075	0,263	-0,612	0,570

	Eigenwerte	Prozente	kum. Prozente
1. Ev.	4,0480	44,978	44,978
2. Ev.	1,8110	20,122	65,100
3. Ev.	0,9653	10,725	75,825
4. Ev.	0,7693	8,548	84,373
5. Ev.	0,5399	5,998	90,371
6. Ev.	0,3273	3,636	94,008
7. Ev.	0,2693	2,992	97,000
8. Ev.	0,1961	2,179	99,179
9. Ev.	0,0739	0,821	100,000

Bei Betrachtung der Eigenwerte und Prozentanteile der Eigenvektoren an der Gesamtvarianz sieht man, daß die ersten beiden Eigenvektoren etwas über 65 Prozent der Gesamt-

varianz des Datensatzes repräsentieren und somit die eindeutig dominierenden Elementgruppierungen des Datensatzes beinhalten.

Im ersten Eigenvektor sind Ni, Co, Cr, Mn, Cu und Zn dominierend, im zweiten Pb, Sb und As.

4.3. Interpretation der Hauptkomponentenanalyse der Bodenproben

Die Abbildungen der Hauptkomponenten sind ausreißerbetont gewählt, um anomale Bereiche stark hervorzuheben. In der Abbildung der Ersten Hauptkomponente lassen sich im wesentlichen zwei anomale Bereiche, die jeweils O – W streichen, erkennen.

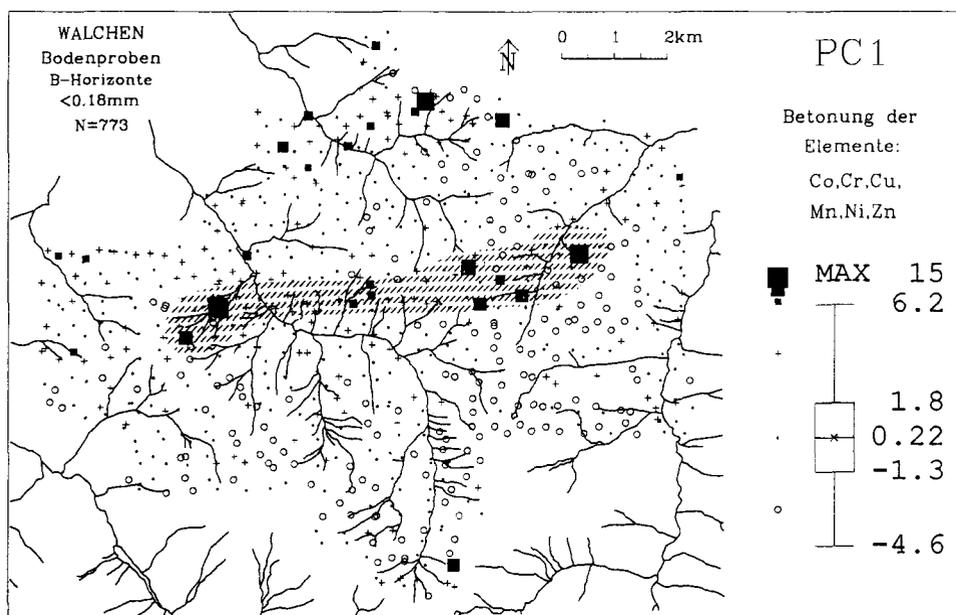


Abb. 4: Werte der Ersten Hauptkomponente im Untersuchungsgebiet. Anomalien weisen die Amphibolite und Grünschiefer, an die die Vererzung genetisch gebunden ist, aus; bekannte Vererzungsbereiche sind schraffiert.

Der Anomaliestreifen, der sich in der Mitte des Beprobungsgebietes knapp nördlich des in diesem Bereich O – W verlaufenden Walchenbaches erstreckt, ist eindeutig mit einem Zug von Grünschiefer- und Amphibolitlagen in Glimmerschiefern in Verbindung zu bringen. In diesem Bereich liegen auch die Vererzungszonen der Walchen. Die Erste Hauptkomponente bildet also die Lithologie, mit der die Walchener Vererzung nach SCHLÜTER et al. (1984), UNGER (1968) genetisch verbunden ist, ab. PEER (1988) hält allerdings eine genetische Bindung der Vererzung an die Glimmerschiefer für wahrscheinlicher. Die eigentlichen Bergbaubereiche treten allerdings nicht als Ausreißer hervor, da die Walchener Vererzung Glimmerschiefern eingelagert ist. Zudem wurde eine unmittelbare Beprobung in den bekannten Bergbaubereichen vermieden.

Der zweite Anomaliestreifen am Nordende des Beprobungsgebietes ist ebenfalls mit Grünschiefer- bzw. Amphibolitziügen in Verbindung zu bringen und gliedert sich bei genauer Betrachtung in einen nördlichen und südlichen Teil, die von einer zirka 1 km breiten Phyllitzone getrennt werden. In diesem nördlichen Anomaliebereich sind allerdings kleinere Grünschieferzüge in der lithologischen Übersichtskarte nicht detailliert ausgewiesen.

Der auffällige einzelne Anomaliepunkt am Südrand des Untersuchungsgebietes ist ebenfalls auf einen isolierten Amphibolitzug zurückzuführen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die lokalen Werte der Ersten Hauptkomponente die mit der Vererzung der Walchen zusammenhängende Lithologie ausweisen.

Bei der Abbildung der Zweiten Hauptkomponente mit der Elementgruppe As, Pb, Sb treten die alten Bergbaubereiche selbst deutlicher hervor und die Grüngesteinszüge, die Anomaliebereiche der Ersten Hauptkomponente, sind wieder etwas hervorgehoben.

Das Auffälligste aber ist ein neuer Anomaliebereich südlich und südöstlich der Walchen, der den Anomaliebereich der Walchen trotz eines signifikanten Lithologiewechsels nach Süden erweitert.

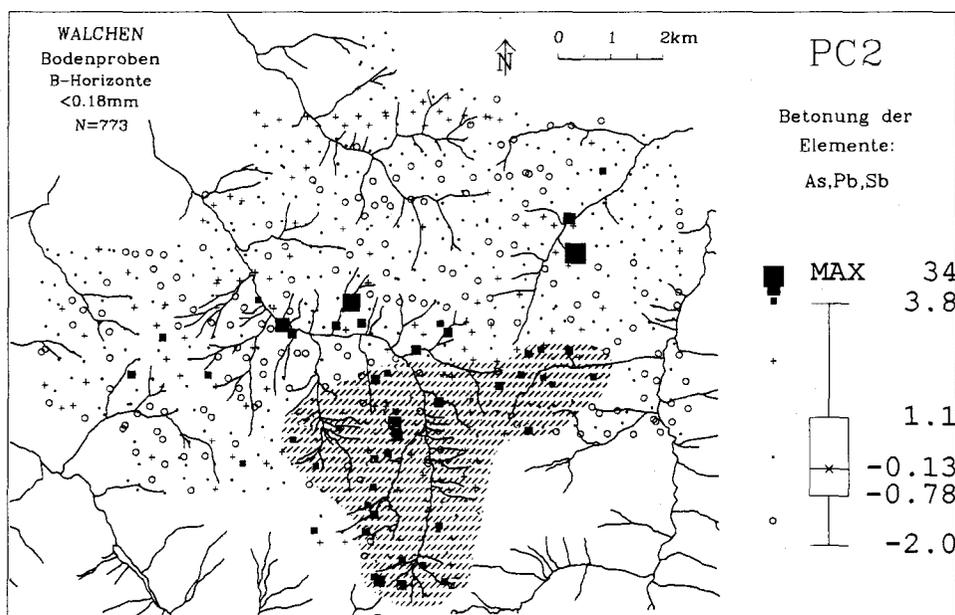


Abb. 5: Werte der Zweiten Hauptkomponente im Untersuchungsgebiet. Der vermutlich von Emissionen der Hüttenanlagen beeinflusste Bereich ist schraffiert.

Bei Geländebegehungen in den fraglichen Anomaliebereichen konnten keine entsprechenden Erzausbisse gefunden werden. Dieser Umstand legt daher die Vermutung nahe, daß dieser Anomaliebereich nicht geogen verursacht ist, sondern eine Auswirkung der mit dem Bergbau verbundenen jahrhundertelangen Verhüttungsaktivitäten darstellt.

5. Diskussion der Ergebnisse

Eine mittels Hauptkomponentenanalyse getroffene Unterscheidung von dominierenden Elementgruppierungen in einem Datensatz ist durch die Methodik der Hauptkomponentenanalyse äußerst zuverlässig (ROCK 1988). Die Interpretation der Ergebnisse einer Hauptkomponentenanalyse ist jedoch vom Verständnis des untersuchten Phänomens abhängig. Die Interpretationsmöglichkeiten der auftretenden Elementgruppen und ihrer regionalen Verteilung steigen daher mit dem Vorwissen über den geologischen Aufbau des Untersuchungsgebietes und über die Art der stattgefundenen Verzugs- und Immissionsprozesse.

Die Argumente für die Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallbelastungen im vorliegenden Fall des Gebiet der Walchen sind folgende:

1. Die klaren Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse der Bodenproben für die o. a. Elemente, die deutlich ein südlich der Walchen gelegenes Anomaliegebiet ausweisen, ohne daß dafür lithologische Ursachen oder im Gelände auffindbare Verzugsanzeichen vorliegen. Dieser Anomaliebereich ist im Gegenteil besonders dadurch charakterisiert, daß sein Elementspektrum den Emissionen einer Kupferhütte entspricht (siehe auch 6.1. Emissionsverhalten des Hüttenprozesses).
2. Die Ergebnisse einer weiteren Hauptkomponentenanalyse im Untersuchungsgebiet. Da die Auswahl der Variablen (in diesem Fall Elemente), die in die Hauptkomponentenanalyse Eingang finden, vom Bearbeiter und dessen Auswertungsmodell abhängt, wurde auch eine andere Schwermetallkombination auf ihre Gruppierung und regionale Verteilung überprüft. Bei Weglassen der stark die Verzugs- und lithologie anzeigenden Elemente Co, Cr und Ni und unter Hinzunahme von Fe, Au und S treten die Grüngesteinszüge in der ersten Hauptkomponente weniger deutlich aber doch klar unterscheidbar hervor. In der zweiten Hauptkomponente ergibt sich ebenfalls ein etwas weniger deutliches, jedoch in der regionalen Gruppierung mit der anderen Hauptkomponentenanalyse identisches Bild. Dies zeigt, daß die Aussage der Hauptkomponentenanalyse kein Zufallsergebnis ist, das ausschließlich mit der gewählten Elementkombination zu erhalten ist.
3. Der Vergleich zu einer Hauptkomponentenanalyse der parallel zu den Bodenproben genommenen Gesteinsproben. Hier zeigt sich, daß in den ersten, bedeutendsten Hauptkomponenten zwar die gleichen lithologischen Gruppierungen wie in den Bodenproben zu erkennen sind, daß aber eine abgegrenzte litho-geochemische Anomalie, die eine verdeckte Verzung im Südtel des Untersuchungsgebietes anzeigen würde, fehlt. Hier gilt allerdings die Einschränkung, daß nur 291 Gesteinsproben analysiert wurden, wobei Karbonate völlig ausgeschlossen wurden.
4. Die Schwermetallverteilung in Profilen. In Kammlagen des südlichen Anomaliebereiches wurden fünf Bodenprofile im Detail (10 cm Abstufungen) beprobt. In diesen Profilen ist eine generelle Anreicherung der (Immissions-)Elemente As, Sb, Pb im Oberboden festzustellen. Ag und Cu sind wechselweise an Ober- und Unterboden, Co, Fe und Ni generell an den Unterboden gebunden.
5. Das Wissen um die jahrhundertelange Verhüttung der Walchener Erze im Walchental, „ständig begleitet von Beschwerden der Bauern wegen des Hüttenrauches, der ihnen Wiesen und Wälder zerstörte“ (REDLICH 1903). Die Erze der Walchen wurden zwar in der letzten Betriebsperiode 1891-1924 nicht in der Walchen verhüttet, jedoch von den

Anfängen im 15. Jahrhundert bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die gewonnenen Erze unmittelbar in der Walchen verarbeitet.

Ausgehend von der lokalen Morphologie und den in diesem Gebiet vorherrschenden klimatischen Verhältnissen (BOBECK 1972) ist klar zu erkennen, daß die Wind-Prallhänge bei der Verengung des Walchentals und im Talschluß die deutlichsten Anomaliebereiche verursachen. Es ist also mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß große Teile der Emissionen der Hüttenanlagen im Ende des Walchentales und den anschließenden Tälern niedergingen.

Ein theoretisches Argument gegen die Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallbelastungen im Gebiet der Walchen besteht allerdings: Es kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, daß im Süden der Walchener Vererzung ein anderer Vererzungstyp, der obertägig nicht aufgeschlossen ist, vorhanden ist. Ausgehend vom Elementspektrum der Anomalie käme etwa eine epigenetische Sb-Pb-As Verdrängungslagerstätte in den Karbonaten (HUTCHISON 1983) in Frage. Die fragliche Anomalie tritt aber in den Glimmerschieferarealen, die die Karbonatzüge umgeben, ebenso auf. Insgesamt widersprechen die Aussagen der Hauptkomponentenanalyse der Gesteinsproben einer Vererzungsindikation.

6. Versuch einer Immissions-Bilanzierung

Aufbauend auf die Dokumentationen über die ungefähre Gesamtproduktion der Walchener Bergbaue, soll der Versuch unternommen werden, die Gesamtemission der angeschlossenen Hüttenanlagen über fünf Jahrhunderte hinweg zumindest grob abzuschätzen und mit den heute vorhandenen Schwermetallgehalten in den Böden in Verbindung zu bringen.

6.1. Emissionsverhalten des Hüttenprozesses

In der umfassenden Beschreibung der Walchener Lagerstätte und ihrer Geschichte bei REDLICH (1903) ist auch eine genaue Darstellung des Verlaufs der Erzverhüttung gegeben.

Grob vereinfachend kann man den Verhüttungsprozeß als wiederholtes Rösten und Schmelzen des Erzes bzw. der jeweiligen Zwischenprodukte zusammenfassen. Verfolgt man den Weg der einzelnen Spurenmetalle im Hüttenprozeß stellt man fest, daß bereits im ersten Schritt, dem Abrösten des Erzes, ein Großteil des Schwefels und große Teile von Zn, Pb, As und Sb (gewöhnlich in der angegebenen Reihenfolge abnehmend von 50 bis 10 Prozent, nach einer persönlichen Mitteilung von DDr. Sperl, Leoben) emittiert wurden. Da die Walchener Erze stark pyritisch waren, dürfte sich besonders As bereits in diesem Prozeßschritt weitgehend verflüchtigt haben (TAFEL 1951, S. 289). Im anschließenden Rohschmelzen wurden Co und Ni beinahe vollständig, Zn, Pb, As und Sb auch teilweise in den „Rohlech“ aufgenommen (REDLICH 1903, BISWAS & DAVENPORT 1980). Nach Abtrennung des Bleis und der Speisen (enthält einen Großteil der noch vorhandenen Arsenide und Antimonide) wurde das Zwischenprodukt für die Kupfergewinnung, der Kupferstein erhalten. In einem der letzten Schritte der Verhüttung wurde dieser Kupferstein zehn bis zwölfmal (!) in offenen (!) Röststadeln geröstet. Bei diesem Schritt dürften nochmals große Teile des noch im Kupferstein verbliebenen Pb, As und Sb emittiert worden sein. Anschließend wurde der Kupferstein nochmals geschmolzen.

6.2. Bilanzierung der Immissionen

Die zur Bilanzierung herangezogenen Zahlenwerte beruhen auf Angaben von REDLICH (1903) und UNGER (1968).

Aus der bei REDLICH (1903) dokumentierten Gesamtproduktion von zirka 3600 t Cu bis 1870 ergibt sich bei einem Ausbringen von zirka 87 Prozent und 1,53 Prozent Cu Durchschnittsgehalt eine Gesamtfördermenge von zirka 270 000 t Kieserzen.

In Verbindung mit den von UNGER (1968) angegebenen durchschnittlichen Gehalten für die Walchener Erze mit 2,1 Prozent Pb, 2,75 Prozent Zn, 0,45 Prozent As und 31,84 Prozent S ergibt das einen Inhalt von zirka 5600 t Pb, 7500 t Zn, 1200 t As und 86 000 t S (für Sb liegen nur wenige Analysen mit stark uneinheitlichen Werten vor).

Tab. 2: Zusammenstellung der für die Immissionsbilanzierung benutzten Angaben über die Walchener Erze bzw. Produktion.

Element	Durchschnittsgehalte im Erz	Gesamtinhalt in 270 000 t Erz	Dokumentierte Produktion
S	31,84%	86 000 t	1150 t
Zn	2,75%	7 500 t	0 t
Pb	2,1 %	5 600 t	4,2 t
As	0,45%	1 200 t	0 t
Sb	0,2 %	500 t	0 t

Tab. 3: Gesamtgehalte und Immissionsanteile der B-Horizont Bodenproben.

Element	robuster Mittelwert*	absolut-Anteil der Immission	relativ-Anteil der Immission
S	560 ppm	500 ppm	89%
Zn	57 ppm	20 ppm	35%
Pb	72 ppm	50 ppm	69%
As	57 ppm	15 ppm	26%
Sb	3,8 ppm	1,9 ppm	50%

* Angaben bezogen auf vermutete anthropogene Anomaliefläche

Tab. 4: Mengenwerte der Immissionsbilanzierung für das anthropogen belastete Gebiet.

Element	Gesamtinhalt im Anomaliebereich	Gesamtinhalt im Anomaliebereich/ha	Immissionsanteil am Gesamtinhalt	Immissionsanteil am Gesamtinhalt/ha	Anteil d. Immissionen a. Gesamtinhalt i. Erz
S	4500 t	2,8 t	4000 t	2,5 t	4,7%
Zn	455 t	0,285 t	160 t	0,1 t	2,1%
Pb	575 t	0,36 t	400 t	0,26 t	7,1%
As	455 t	0,285 t	120 t	0,075 t	13,3%
Sb	30 t	0,019 t	15 t	0,09 t	3 %

Für das, nach obiger Interpretation, anthropogen belastete Gebiet ergibt sich als Grundlage für die Immissionsbilanz folgende Menge belasteten Bodens: Bei einer belasteten Fläche von zirka 16 km² ergeben sich, bei Annahme von durchschnittlich 0,25 m Mächtigkeit des B-Horizonts mit Dichte 2 rund 8 000 000 t belasteten Bodens.

Zur Ermittlung der Immission wurden die Differenzen der robusten Mittelwerte zu den Hintergrundwerten (Modalwerte, abgelesen aus der Dichteverteilung der Analysenwerte) mit 50 ppm für Pb, 15 ppm für As, 20 ppm für Zn, 500 ppm S und 1,9 ppm Sb ermittelt. Der Gesamteintrag ist in 8 000 000 t Boden 400 t Pb, 120 t As, 160 t Zn, 4000 t S und 15 t Sb.

Diese Mengen sind aus den oben angegebenen Mengen an Metallen, die im Verhüttungsprozeß bearbeitet wurden, ohne weiteres zu erklären. Eine eventuelle relative Anreicherung der Metallgehalte durch die Absiebung auf die Fraktion < 0,18 mm kann aufgrund der Feinkörnigkeit der probierten Böden vernachlässigt werden (REIMANN 1989).

Literaturverzeichnis

- ADRIANO, D. C.: Trace Elements in the Terrestrial Environment. — Springer, New York, 1986.
- BISWAS, A. K. & DAVENPORT, W. G.: Extractive Metallurgy of Copper. — Pergamon Press, Oxford-New York, 1980.
- BOBEK, H. [Hrsg.]: Atlas der Republik Österreich. — Freitag-Berndt & Artaria, Wien, 1972.
- FIEDLER, H. J. & RÖSLER, H. J. [Hrsg.]: Spurenelemente in der Umwelt. — Enke, Stuttgart, 1988.
- HUTCHISON, C. S.: Economic Deposits and their Tectonic Setting. — MacMillan, London, 1983.
- KLOKE, A.: Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. — Mitt. d. VDLUFA, 1, 9-11, 1980.
- KÜRZL, H., REIMANN, C., WÜRZER, F.: Die Identifikation von Umweltbelastungen aus regionalen Geochemiedaten — Möglichkeiten der multivariaten Datenauswertung. — Mitt. österr. geol. Ges., 79, 91-106, 1986.
- KÜRZL, H., DUTTER, R., PEER, H., REIMANN, C., VINZENZ, M., WASSERMANN, W., WÜRZER, F., WOLFBAUER, J. [Proj.-L.]: EDV-gestützte Primärauswertung der Teilprojekte KC6F2/82, SC2c/F/82, StC1d/82, TC4b/82: Datenanalyse für regionale geochemische Untersuchungen — eingesetzte statistische Methoden und Auswertungssystem. — Verträge Bundesmin. Wiss. Forsch., Bibl. der Geol. B.-A., Wiss. Archiv, 1985a
- [Proj.-L.]: EDV-gestützte Primärauswertung der Teilprojekte KC6F2/82, SC2c/F/82, StC1d/82, TC4b/82: Primärauswertung des Gebietes Niedere Tauern — Kristallin. — Verträge Bundesmin. Wiss. Forsch. Bibl. der Geol. B.-A., Wiss. Archiv, 1985b.
- PEER, H. W.: Neue Ergebnisse aus der Grenzzone zwischen Mittelostalpin und Oberostalpin im Walchengraben bei Öblarn (Steiermark). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 34/35, 243-262, 1988.
- : Rekristallisierte Blastomylonite aus Amphiboliten und Biolit-Plagioklasgneisen als deckentektonisches Trennelement zwischen Mittelostalpin und Oberostalpin im Walchengraben südlich von Öblarn (Steiermark). — Jb. Geol. B.-A.: 132/2, 475-487, 1989.
- REDLICH, K. A.: Die Walehen bei Öblarn, ein Kiesbergbau im Ennstal. — Berg. Hüttenm. Jb., 51, 1-62, 1903.
- REIMANN, C.: Experiences with Low Density Soil Sampling for Mineral Exploration in Alpine Regions. — J. Geochem. Explor.-Spec. Vol, 1986.
- : Comparison of Stream Sediment and Soil Sampling for Regional Exploration in the Eastern Alps, Austria. — J. Geochem. Explor., 31, 75-85, 1988.
- : Untersuchungen zur regionalen Schwermetallbelastung in einem Waldgebiet der Steiermark. — Tagungsband — Umweltwissenschaftliche Fachtage Graz, 39-50, 1989.
- ROCK, N. M. S.: Numerical Geology. — Springer, Berlin-Heidelberg, 1988.
- SCHABL, A., WEISS, A., WOLFBAUER, J.: Bibliographie aus der Lagerstättendokumentation Niedere Tauern. — Rohstofforschung Leoben, 1987.
- SCHLÜTER, J., TARKIAN, M., STUMPFEL, E. F.: Die stratiforme Sulfidlagerstätte Walchen, Steiermark, Österreich: Geochemie und Genese. — Tschermaks Min. Petr. Mitt., 33, 287-296, 1984.

- SRIVASTAVA, M. S., CARTER, E. M.: An Introduction to Applied Multivariate Statistics. —, North-Holland, New York, 1983.
- TAFEL, V.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde, Band I. — S. Hirzel, Leipzig, 1951.
- TUKEY, J. W.: Exploratory Data Analysis. — Addison Wesley, Reading, Mass., 1977.
- UNGER, H. J.: Der Schwefel und Kiesbergbau in der Walchen bei Öblarn im Ennstal. — Archiv f. Lagerstättenforschung i. d. Ostalpen, 7, 1968.
- WURZER, R.: Application of Robust Statistics in the Analysis of Geochemical Data. — [In:] C. F. CHUNG et al. [Hrsg.] Quantitative Analysis of Mineral and Energy Resources, 131-143, Reidel, Dordrecht, 1988.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 16. Juli 1990.