

PUBLICATIONS DU SERVICE GEOLOGIQUE DU LUXEMBOURG

BULLETIN N° 11 / 1979

Strategische Erzprospektion mit Hilfe von
Oberflächenwässern und deren Sedimenten
in Nord-Luxemburg

Ministère des Travaux Publics — Service Géologique
Luxembourg
1979

PUBLICATIONS DU SERVICE GEOLOGIQUE DU LUXEMBOURG

BULLETIN N° 11 / 1979

**Strategische Erzprospektion mit Hilfe von
Oberflächenwässern und deren Sedimenten
in Nord-Luxemburg**

Ministère des Travaux Publics — Service Géologique
Luxembourg
1979

Strategische Erzprospektion mit Hilfe von Oberflächenwässern und deren Sedimenten in Nord-Luxemburg

Anschrift des Verfassers :

Dr. J. THEIN

Geologisches Institut der Universität Bonn

Nußallee 8

53 BONN 1

SOMMAIRE :

Strategische Erzprospektion mit Hilfe von Oberflächenwässern und deren Sedimenten in Nord-Luxemburg

| | <i>page</i> |
|--|-------------|
| Zusammenfassung | 9 |
| Résumé | 9 |
| Einleitung | 9 |
| 1. Geologische und hydrogeologische Situation des Prospektionsgebietes | 10 |
| 1.1. Geologie und Lagerstätten | 10 |
| 1.2. Hydrogeologie | 11 |
| 2. Untersuchungsmethoden | 13 |
| 2.1. Probenahme im Gelände | 13 |
| 2.2. Laboruntersuchungen | 13 |
| 2.2.1. Wässer | 13 |
| 2.2.2. Sedimente | 14 |
| 2.2.3. Erzproben | 14 |
| 2.3. Statistische Auswertverfahren | 14 |
| 2.3.1. Elementarstatistik | 14 |
| 2.3.2. Multivariate Statistik | 16 |
| 3. Ergebnisse | 16 |
| 3.1. Verteilung von Zink im Wasser | 16 |
| 3.2. Verteilung von Zink im Sediment | 18 |
| 3.3. Verteilung von Blei im Sediment | 20 |
| 3.4. Verteilung von Kupfer im Sediment | 21 |
| 3.5. Verteilung von Antimon im Sediment | 21 |
| 3.6. Verteilung von Nickel im Sediment | 24 |
| 3.7. Verteilung von Kobalt im Sediment | 24 |
| 3.8. Verteilung von Silber im Sediment | 27 |
| 3.9. Verteilung von Pb/Zn und Ni/Co | 29 |
| 3.10. Verteilung der Faktorladungen aus der Hauptkom- ponentenanalyse im Q-Modus | 29 |
| 3.10.1. Faktor 1 | 29 |
| 3.10.2. Faktor 2 | 32 |
| 3.10.3. Faktor 3 | 34 |
| 4. Diskussion der Ergebnisse | 34 |
| 4.1. Anthropogene Kontamination | 34 |
| 4.2. Einfluß des geologischen Untergrundes auf die regionale Verteilung der Metalle | 38 |
| 5. Schlußfolgerungen und Ausblick | 38 |
| Literatur | 39 |

PRÉFACE :

Un levé aéromagnétique, réalisé en 1969 a fait ressortir une anomalie magnétique dans les environs du filon de galène de la région d'Allerborn. Quoiqu'une étude magnétique effectuée sur le terrain n'a donné aucune corrélation entre magnétisme et filon, le Service Géologique a pris l'initiative de faire réaliser une prospection géochimique à exécuter en plusieurs étapes, et ceci à un moment où face à une éventuelle pénurie en matières premières dans les pays de la C.E.E., des recherches analogues ont été faites dans grand nombre de ces pays.

En effet l'Europe a épuisé ses gisements riches en minerais et faciles d'accès. Pour garder une certaine indépendance en matière d'approvisionnement, elle doit s'orienter vers les gisements pauvres et difficilement accessibles en essayant de tirer de son propre sol les matières premières dont elle a besoin. Certes elle doit y consacrer beaucoup plus d'effort que la plupart des autres pays industrialisés disposant d'une grande richesse en espace et en ressources primaires.

Si elle fait appel à l'esprit inventif dont ses scientifiques ont depuis toujours fait preuve, elle pourra probablement réussir à travailler dans des conditions économiquement acceptables, mais elle doit surtout prendre garde à ne pas se heurter à une disponibilité en énergie, si un jour elle sera obligée de transformer ses minerais pauvres.

C'est dans cette optique d'ensemble qu'il faut voir la première étape de la prospection géochimique menée par Monsieur Jean THEIN et dont les résultats nous sont présentés dans la présente publication.

Il était certain dès le départ que cette prospection n'aboutirait pas vers la découverte de gisements exploitables, mais elle nous a fourni des connaissances nouvelles quant à la minéralisation de certaines régions de notre Oesling, inconnues jusqu'à présent.

Comme suite des opérations il faut prévoir une prospection à maille plus serrée des régions minéralisées, prospection qui devrait se faire sur des échantillons de sols dont la contamination par les activités humaines est moins probable.

J. BINTZ

*Ingénieur-géologue ppal
au Service géologique*

Strategische Erzprospektion mit Hilfe von Oberflächenwässern und deren Sedimenten in Nord-Luxemburg

Zusammenfassung

Im Zuge einer großflächigen Übersichtsprospektion auf polymetallische Gangvererzungen wurden in Nord-Luxemburg zwischen Troisvierges und der Sauer, an Wasser- und Sedimentproben des Gewässernetzes die Schwermetalle Zn, Pb, Cu, Sb, Ni, Co, Ag sowie die Elemente Na, K und Cr untersucht und deren regionale Verteilung festgestellt. Die statistische Auswertung der Analyseergebnisse mit Hilfe von Hauptkomponentenanalysen im Q-Modus erlaubt das Zeichnen von Provinzen verschiedener Elementparagenesen und die Festlegung von «polymetallischen» Anomalienbereichen. Das Abtrennen anthropogen bedingter «falscher» Anomalien von natürlichen «echten» Anomalien ist mit Hilfe von Elementverhältnissen möglich. Die auf diese Weise bestimmten Gebiete mit erhöhten natürlichen Metallgehalten bilden den Rahmen für weitergehende, detaillierte Prospektionen.

Résumé

Au cours d'une prospection stratégique au nord des Ardennes luxembourgeoises, entre Troisvierges et la Sûre, furent prélevés plus de 300 échantillons d'eau et d'alluvions, sur lesquels furent analysés les éléments: Zn, Pb, Cu, Sb, Ni, Co, Ag, Na, K et Cr. Les résultats sont représentés de façon traditionnelle dans des cartes de répartition régionale, méthode qui révèle des régions de teneurs anormales pour l'un ou l'autre élément. L'étude approfondie à l'aide de l'analyse factorielle en Q permet de définir des anomalies polymétalliques et de tracer des provinces à paragenèses métalliques différentes. L'influence anthropogène étant très forte dans la région prospectée, il semble pourtant possible de reconnaître les échantillons contaminés («anomalies fausses») en considérant les relations entre certains éléments (Pb/Zn et Ni/Co). Après l'élimination des échantillons contaminés, ils restent des zones d'anomalies naturelles «vraies» qui peuvent servir comme base pour des prospections de détail futures.

Einleitung

Im Luxemburger Anteil des Rheinischen Schiefergebirges, dem Ösling, sind die Erzgänge von Longvilly/Allerborn (Pb), Goesdorf (Sb) und Stolzemburg (Cu) die einzigen bekannten Ganglagerstätten.

ten im devonischen Sockel, die bis zur Jahrhundertwende (Stolzemburg sogar bis 1943) wenigstens zeitweilig einen Abbau kannten, wenn dieser auch meist im Versuchsstadium steckenblieb (LUCIUS 1948, 1950). Interessant ist die Cu-Sb-Paragenese, die in den angrenzenden Ardennen und in der Eifel wesentlich seltener ist als die stark verbreitete Pb-Zn-Paragenese. Goesdorf ist das einzige bekannte Antimonitvorkommen des westlichen Schiefergebirges.

Eine aeromagnetische Routinevermessung Luxemburgs im Jahre 1969 zeigte im Bereich des Allerborner Bleiglanganges mit gleichem Streichen eine ausgedehnte magnetische Anomalie. Sie wurde in der Folgezeit, auf Anregung des Service Géologique du Luxembourg hin, im Rahmen einer Diplomarbeit durch feldmagnetische Aufnahmen bestätigt (ORZEKOWSKY 1977, 1980), ein direkter Zusammenhang mit dem Gang konnte allerdings nicht nachgewiesen werden. Trotzdem waren diese magnetischen Befunde der Auftakt zu einer geochemischen Übersichtsprospektion im Raum Allerborn, die dann nach Osten und Norden ausgedehnt wurde und schließlich auch den Antimonitgangbezirk von Goesdorf bei Esch-Sauer umfaßte. Ihr zugrunde liegen Proben von Wässern und Sedimenten aus dem Einzugsgebiet von Sauer, Our, Wiltz und Clerf, die im Mai 1978, im Laufe einer hydrochemischen Übung des geologischen Instituts der Universität Bonn von Studenten entnommen wurden. Im August 1978 fand eine Nachbeprobung in Bereichen von inzwischen festgestellten Metallanomalien statt.

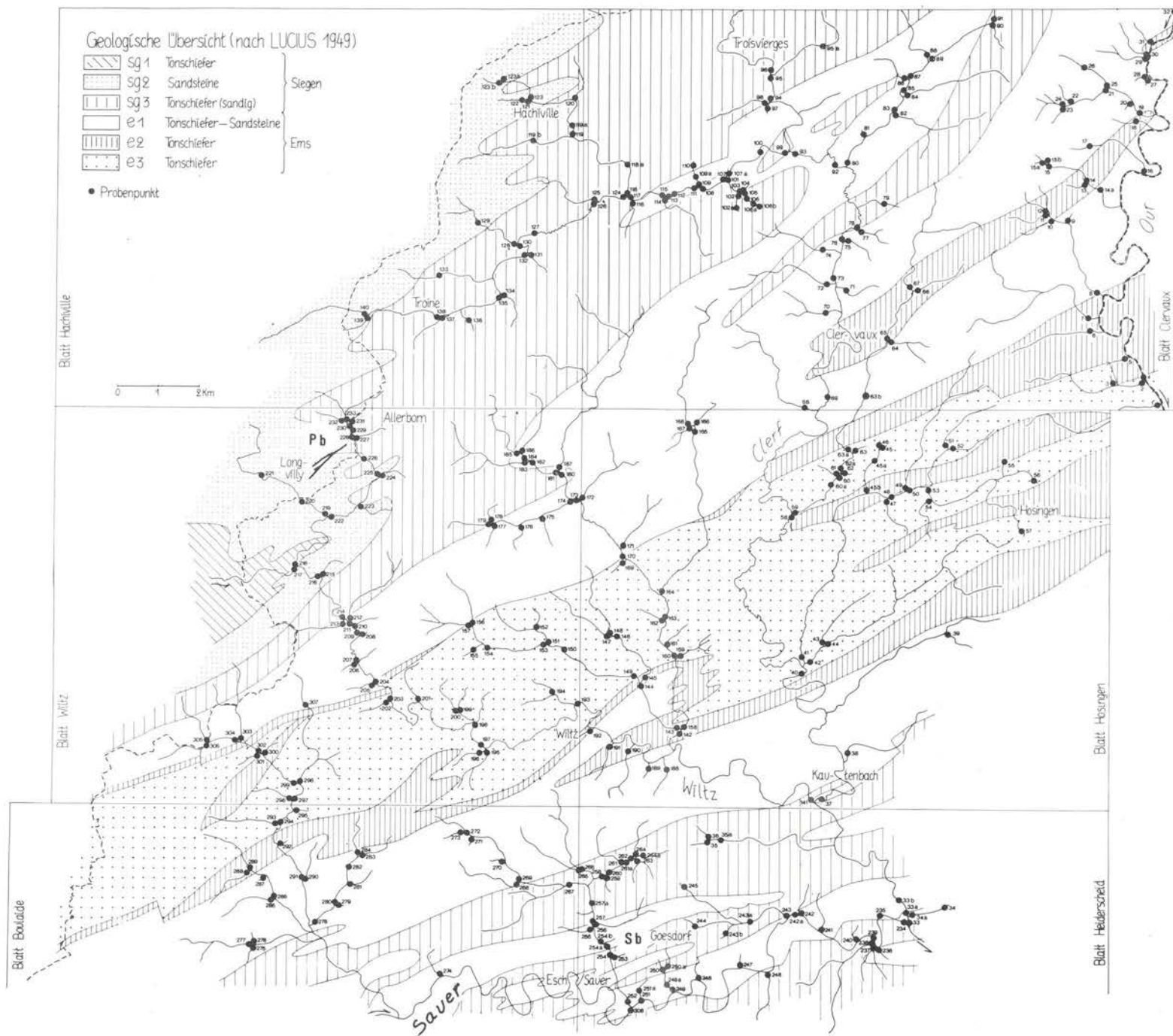
Mein Dank gilt den Studenten des hydrogeologischen Kurses, die in zweitägiger Arbeit Proben gesammelt haben, Herrn Prof. A. SIEHL (Geol. Inst. der Uni. Bonn) für seine Unterstützung bei der Probennahme im Gelände und der Hilfestellung bei der rechnerischen Auswertung der Daten, Herrn H. KLINZ (Geol. Inst. Uni. Bonn) für die fotografische Aufnahme der Abbildungen sowie vor allem dem Service Géologique du Luxembourg für großzügige Unterstützung.

1. *Geologische und hydrogeologische Situation des Prospektionsgebietes*

1.1. *Geologie und Lagerstätten (Abb. 1)*

Beide Lagerstätten (Allerborn und Goesdorf) sind an tiefhydrothermale Gangvererzungen im unteren Devon gebunden. Der Bleiglangang von Longvilly-Allerborn sitzt, mit W-E bis SW-NE-Streichen, einer streichenden Störung in Sandsteinen und sandigen Ton-schiefern des mittleren und oberen Siegen (sg2 - sg3) am Südflügel der Antiklinale von Bastogne auf. Die Vererzung liegt am E-Rand der schwach metamorphen Zone von Bastogne in Belgien, die durch epigenetische Pyrit- und Magnetitführung in den schiefrigen Partien gekennzeichnet ist (ANTUN 1970, 1971). Der Bereich von Longvilly bis nördlich von Troine fällt durch sehr starke Verbreitung

Abb. 1



von löchrigem, glimmerführendem Gangquarz auf, der im letzten Jahrhundert zu zahlreichen Grabungen auf Bleierze Anlaß gegeben hat. Spuren von Bleiglanz, z. T. auch von Antimonit, im Gangquarz wurden denn auch östlich und nördlich von Allerborn bis nach Troine nachgewiesen (LUCIUS, 1950).

Südlich schließt sich die Synklinale von Wiltz an, deren jüngste Schichten, Tonschiefer, Sandsteine und Quarzite des oberen Ems (e3), als «Wiltzer Schichten» und «Quarzit von Berlé», vom südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes über den zentralen Teil nach NE ziehen.

Sie werden an beiden Muldenflügeln eingerahmt von den «bunten Schichten von Clerf» (e2), violettrotten bis grüngrauen, sandigen Tonschiefern, die am nördlichen Flügel zwischen Clerf und Wiltz größtenteils durch streichende Störungen unterdrückt sind. Sie treten noch einmal zwischen Clervaux und dem nordöstlichsten Zipfel des Prospektionsgebietes in der «Mulde von Clervaux» auf.

Ihnen schließt sich im Liegenden das untere Ems (e1) an, das auf weiten Flächen zwischen der Mulde von Wiltz und dem Sattel von Bastogne im Norden und dem Sattel von Givonne südlich der Sauer ausstreicht. Es sind dies sandige Tonschiefer, die nach oben hin in eine zunehmend sandige und quarzitische Fazies übergehen. In ihnen sind am Südflügel der Mulde von Wiltz die beiden Gruben von Goesdorf und von Stolzenburg (SE. von Hosingen, ausserhalb des Prospektionsgebietes) auf querschlägigen Gängen aufgeschlossen. Bei Stolzenburg sind es drei ca. 300 Meter lange, fast N-S-streichende Gänge, die in Ankerit-, Siderit- und Barytgangmittel hauptsächlich Kupferkies führen, bei Goesdorf zwei etwa 108° streichende Diagonalgänge in Sandsteinen im e2-e1-Grenzbereich. Sie führen über einige hundert Meter in quarzigem Bergematerial Antimonitlinsen stark wechselnder Mächtigkeit.

Im weiteren Bereich von Goesdorf, der wie die Gegend um Allerborn durch zahlreiche Quarzgänge hervortritt, gab es häufig ungezielte Probeschürfe im letzten Jahrhundert, die am Nord-Ufer der Sauer zwischen Goesdorf und der Wiltz mehrere Kupferkies, Bleiglanz, und Antimonit führende Quarzgänge entdeckten.

Ca. 5 km. südlich der Sauer lagert, parallel zum devonischen Generalstreichen, die untere Trias der Luxemburg-Trierer Bucht in grobklastischer, dolomitischer Randfazies dem Grundgebirge auf.

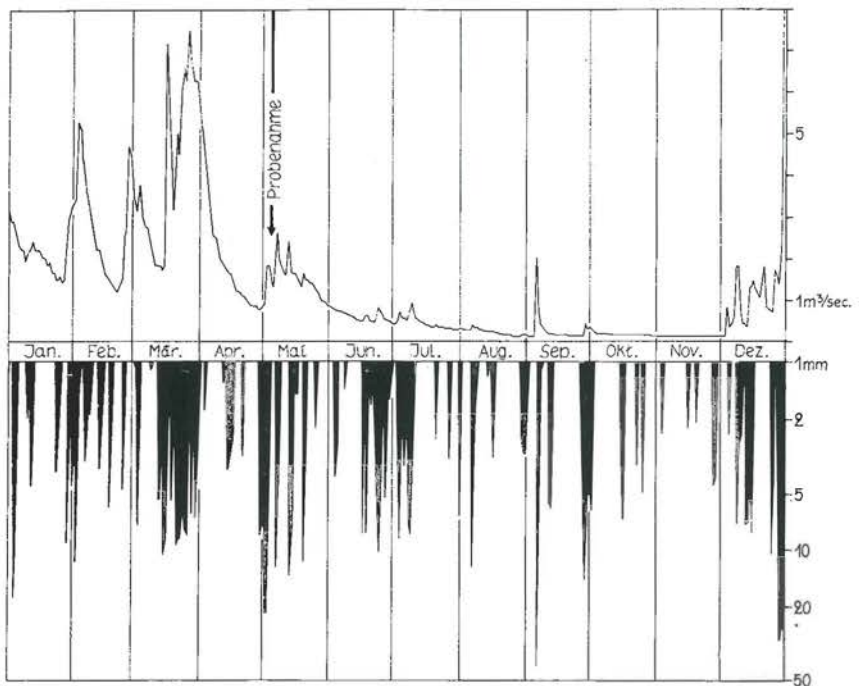
1.2. Hydrogeologie

Die Bäche des Prospektionsgebietes entwässern in drei Flüsse: die Wiltz, die Clerf und die Our, die ihrerseits im Süden des Gebietes in die Sauer als Hauptvorfluter münden. Das Gewässernetz ist nach geologischen Vorzeichnungen ausgerichtet. Es orientiert

sich am variszischen Streichen der Sättel und Mulden sowie an deren Quer- und Diagonalstörungen. Die Hauptflüsse sind in steilen V-Tälern in die tertiär eingeebnete Rumpffläche des Devons eingeschnitten. Die Nebenbäche sind nur kurz, mit sehr steilem Gefälle.

Diese morphologische und hydrologische Situation und das sehr geringe Speichervermögen der impermeablen Devongesteine bestimmen weitgehend den Wasserhaushalt, der vergleichbar ist mit dem anderer Flüsse im Rheinischen Schiefergebirge (WEYER 1972). Als Beispiel sollen hier die Abflüsse der Wiltz, gemessen am Pegel Winseler westlich der Stadt Wiltz, dargestellt werden (Abb. 2).

Abb. 2: Abflußkurve der Wiltz in m^3/sec . (Pegel Winseler, westlich der Stadt Wiltz) und Niederschlagsmengen in mm/Tag für deren nördliches Einzugsgebiet (Station Troine) im Jahr 1978. Die Probenahme fand am 4. und 5. Mai statt.



Typisch ist der steile Abfall der Abflußkurve nach Regenereignissen, speziell in der vegetationsfreien Zeit. Der größte Teil des Niederschlages fließt sehr schnell als Oberflächenwasser ab. Der Bodenwasseranteil ist in kurzer Frist abgelaufen, und der flachste Teil der Trockenwetterkurve weist für das Einzugsgebiet der Wiltz eine sehr niedrige Grundwasserspense aus (1978 etwa $0.16 \text{ m}^3/\text{sec}$. in den niederschlagärmsten Monaten). In diesen Perioden sind die

Oberläufe der Bäche und die kleinen Nebenbäche weitgehend ausgetrocknet. Kurzfristige Regenereignisse haben in der Vegetationsperiode keinen Einfluß auf die Abflußmenge da der Niederschlag größtenteils als Sickerwasser im Boden verbleibt.

Die Probenahme am 4. und 5. Mai fand kurz nach einem mehrtägigen intensiven Niederschlag statt. Oberflächen- und Bodenwasser dürften in den Bächen überwogen haben. Der Anteil an ausgewaschenem Schweb- und Kolloidmaterial ist daher in den Proben recht groß, was erhöhte Zn-Gehalte gegenüber gleichen Proben im August, wo fast ausschließlich langfristiges Grundwasser zur Verfügung stand, zur Folge hat (siehe Kap. 3.1.). Diese rasch wechselnde Metallführung der Wässer und die sehr niedrigen Gehalte waren zwei der Gründe für die Entnahme von Sedimentproben, die als Langzeitspeicher am ehesten durchschnittliche lokale Metallgehalte repräsentieren (siehe auch FÖRSTNER & MÜLLER, 1974).

2. *Untersuchungsmethoden*

2.1. *Probenahme im Gelände*

Die Wasserproben wurden im Gelände mit Dithizon nach einer von SMITH (1964) für Sedimente beschriebenen, leicht abgewandelten Methode auf den kaltextrahierbaren Schwermetallanteil hin überprüft. Der Geländebefund deckt sich im wesentlichen mit den im Labor bestimmten Zn-Werten. Es wurden so vor Ort interessante Bereiche mit erhöhten Metallgehalten vorwegbestimmt und die Probendichte dort dementsprechend vergrößert. 100 ml. Wasser wurden anschließend mit einigen Tropfen HNO₃ konz. angesäuert und für die weitere Untersuchung im Labor in Polyäthylenflaschen gefüllt.

Bei der Entnahme der Sedimentproben wurde darauf geachtet, daß bereits im Gelände ein möglichst großer Anteil an Schluff- und Feinsandkorn gesammelt wurde. Die Proben wurden ohne Vorbehandlung in Plastikbeutel verpackt und luftdicht abgeschlossen.

Im August wurden Punkte mit anomalen Metallgehalten zur Kontrolle erneut auf gleiche Art beprobt. Da infolge der geringen Wasserführung einige kleinere Bäche trocken waren, konnten hier allerdings nur die Metallwerte der Sedimente überprüft werden. In anomalen Gebieten wurde das Probenraster verdichtet.

Die Lage der Proben ist aus Abb. 1 zu ersehen.

2.2. *Laboruntersuchungen*

2.2.1. *Wässer*

An den Wässern wurde ohne weitere Vorbehandlung Zn mit Hilfe der Atomabsorption (Gerät 300 von PERKIN-ELMER) be-

stimmt, sowie zur Kontrolle des anthropogen bedingten Verschmutzungsgrades die Elemente Na und K. Die Zn-Verteilung ist in Abb. 3, die Na-Verteilung in Abb. 16 dargestellt.

2.2.2. *Sedimente*

Von den getrockneten Sedimentproben wurde die Kornfraktion $< 200 \mu$ mit einem Nylonsieb abgetrennt. Sie hat sich bei raschen Übersichtsprospektionen als optimale Korngrößenfraktion bewährt (HAWKES & WEBB 1965, HILLMER 1972, LEVINSON 1974). Das Abtrennen feineren Korns mit höheren Metallkonzentrationen wäre bei großen Probenmengen mit unvermeidbar hohem Aufwand verbunden.

Die gesiebten Proben wurden eine Stunde lang in halbkonzentrierter Salzsäure gekocht und anschließend abfiltriert. Im Filtrat wurden Zn, Pb, Cu, Ni, Co und Cr mit der Atomabsorption in der Flamme bestimmt, Sb und Ag wegen der niedrigen Gehalte in der Graphitrohrküvette HGA 500 von PERKIN ELMER. Die Verteilung der salzsäurelöslichen Metallanteile ist aus den Abb. 4-10 ersichtlich.

2.2.3. *Erzproben*

Die Auswahl der untersuchten Elemente beruht zum Teil auf der Analyse von Proben der im Prospektionsgebiet zu erwartenden Erze. Zur Verfügung standen Bleiglanz-, Antimonit- und Kupferkiesproben der luxemburger Gruben aus der Sammlung des Service géologique sowie selbstgesammeltes Haldenmaterial und anstehende Gangquarze. Die Untersuchungsergebnisse von Königswasseraufschlüssen sind in Tab. 1 wiedergegeben.

2.3. *Statistische Auswerteverfahren*

2.3.1. *Elementarstatistik*

Das Hauptproblem jeglicher Prospektion liegt in der Aufarbeitung und der Interpretation des gewonnenen Datenmaterials. Wie sind die Werte verteilt, wie stark streuen sie, wo liegt die Grenze zwischen normalen Gehalten und solchen, die möglicherweise auf Mineralisationen hindeuten? Zur Bestimmung von *Background* (Untergrund) und *Threshold* (Schwellenwert, oberhalb dessen Metallgehalte als anomal einzustufen sind), sind bisher mannigfache Methoden angewandt worden. Als Grundlage dient die Summenhäufigkeit der einzelnen Elemente. Die kumulativen Verteilungskurven aller untersuchten Elemente sind in Abb. 15 auf Wahrscheinlichkeitspapier dargestellt. Als Background für die einzelnen Elemente wurde der Median der jeweiligen Summenkurve angenommen. Zur rechnerischen Ermittlung des wichtigen Thresholdwertes wurde die übliche Formel: $T = M + 2S$ (= Median + 2 mal Standardabweichung)

chung) herangezogen. Diese Methode gilt streng genommen nur für unimodale Verteilungen, die auf Wahrscheinlichkeitspapier gerade Kurven ergeben. Abb. 15 zeigt aber z. B. für Zink im Wasser (Zn H₂O) und Ag stark abgeknickte Verteilungsgeraden, ein Hinweis für die Beteiligung mehrerer Populationen an der Kurve. Diese bi- oder gar polymodale Verteilung der Summenkurven wird andererseits oft zur graphischen Bestimmung des Thresholdwerts herangezogen (z. B. KULMS & FRIEDRICH 1970 a, b) indem die zweite Population mit den hohen Werten als die anomale angenommen wird.

Im wesentlichen stimmen die Ergebnisse beider Methoden hier überein, außer für Zn (H₂O) und Ag, wobei sie für Zn zu niedrig, für AG mit 400 ppm zu hoch errechnet wurden.

Die in den Verteilungskarten angegebenen Grenzen zu anomalen Gehalten (errechnete Thresholdwerte) sollten deshalb nur als grobe Richtwerte gelten, zumal bei fast allen Elementen auch noch regionale Unterschiede in den Medianwerten auftreten, die bei der pauschalen Ermittlung des Backgrounds nicht berücksichtigt wurden.

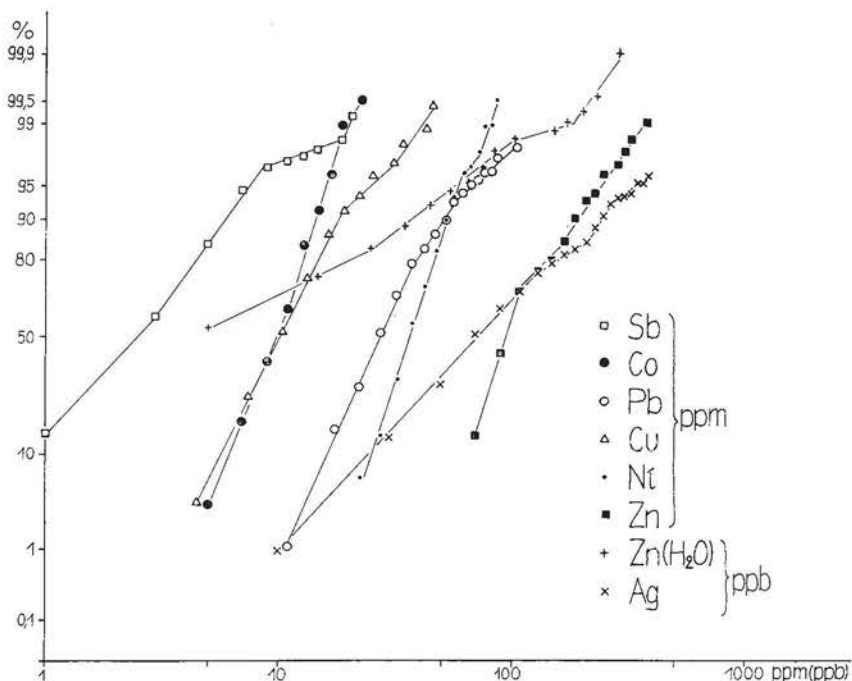


Abb. 15: Summenkurven der Häufigkeitsverteilung der untersuchten Elemente auf Wahrscheinlichkeitspapier.

2.3.2. *Multivariate Statistik*

Die bei Prospektionen aufgezeigten Anomalien beziehen sich auf Einzelelemente. Regionalgeochemische Arbeiten an Erzlagerstätten (GASSER & THEIN 1977, SIEHL & THEIN 1978) haben gezeigt, daß häufig die «polymetallische» Betrachtungsweise mit Hilfe multivariater Statistik der Aussage des Einzelelements überlegen ist. Anwendungsbeispiele in der Prospektion gaben hierfür NICHOL et al. (1969).*)

Die aus den regionalen Verteilungen der Einzelelemente bereits sich abzeichnenden regionalen Trends wurden mit Hauptkomponentenanalysen im Q-Modus überprüft. Hierzu wurden die logarithmierten Meßwerte der Proben (die Verteilung der Proben ist generell stark linksschief) im Programm CABFAC von KLOVAN & IMBRIE (1971) verarbeitet. Dabei wurde die Verteilung der Proben im siebendimensionalen Merkmalsraum der untersuchten Elemente in einen dreidimensionalen Hauptkomponenten- oder Faktorenraum projiziert. Die Faktorenachsen stellen nun neue zusammengesetzte Merkmale dar, die von Gruppen höher miteinander korrelierter Metalle bestimmt werden. Durch diese Vereinfachung ist eine bessere Einsicht in die Gesamtverteilung der Proben möglich. Den Koordinaten der Proben im Faktorenraum entsprechen die *Faktorenladungen*, die für die ersten drei Faktoren in den Abb. 12-14 dargestellt sind. Geochemisch ähnliche Proben sind durch annähernd gleich große Ladungen auf dem jeweiligen Faktor charakterisiert.

3. *Ergebnisse*

3.1. *Verteilung von Zink im Wasser (Abb. 3)*

Zink ist im Mittel (Median) mit 10 ppb in den untersuchten Wässern enthalten, wobei Werte um und unter diesem Backgroundwert vor allem im Süden und Osten auftreten. Die westlichen und nordwestlichen Proben sind mit durchweg höheren Gehalten vertreten. Eine ausgeprägte Zink-Anomalie ist unterhalb des Allerborner Ganges zu beobachten, von Probe 226 an bachabwärts, mit kontinuierlich abnehmenden Gehalten. Die aus der alten Halde und einer Grubenentwässerung in den Bach von Longvilly stammenden, stark kontaminierten Wässer sind bis zur Mündung der Wiltz in die Sauer zu verfolgen. Auch die Proben nördlich des Ganges verraten mit anomalen Gehalten die Nähe der Vererzung.

*) Während der Drucklegung gingen dem Verfasser die Arbeiten von SANTOS OLIVEIRA, J. M. (1978) und OLADE, M. A. et al. (1979) zu, die mit Methoden der multivariaten Statistik für Pb-Zn-Lagerstätten in Portugal und Nigeria ähnlich gute Ergebnisse erzielten.

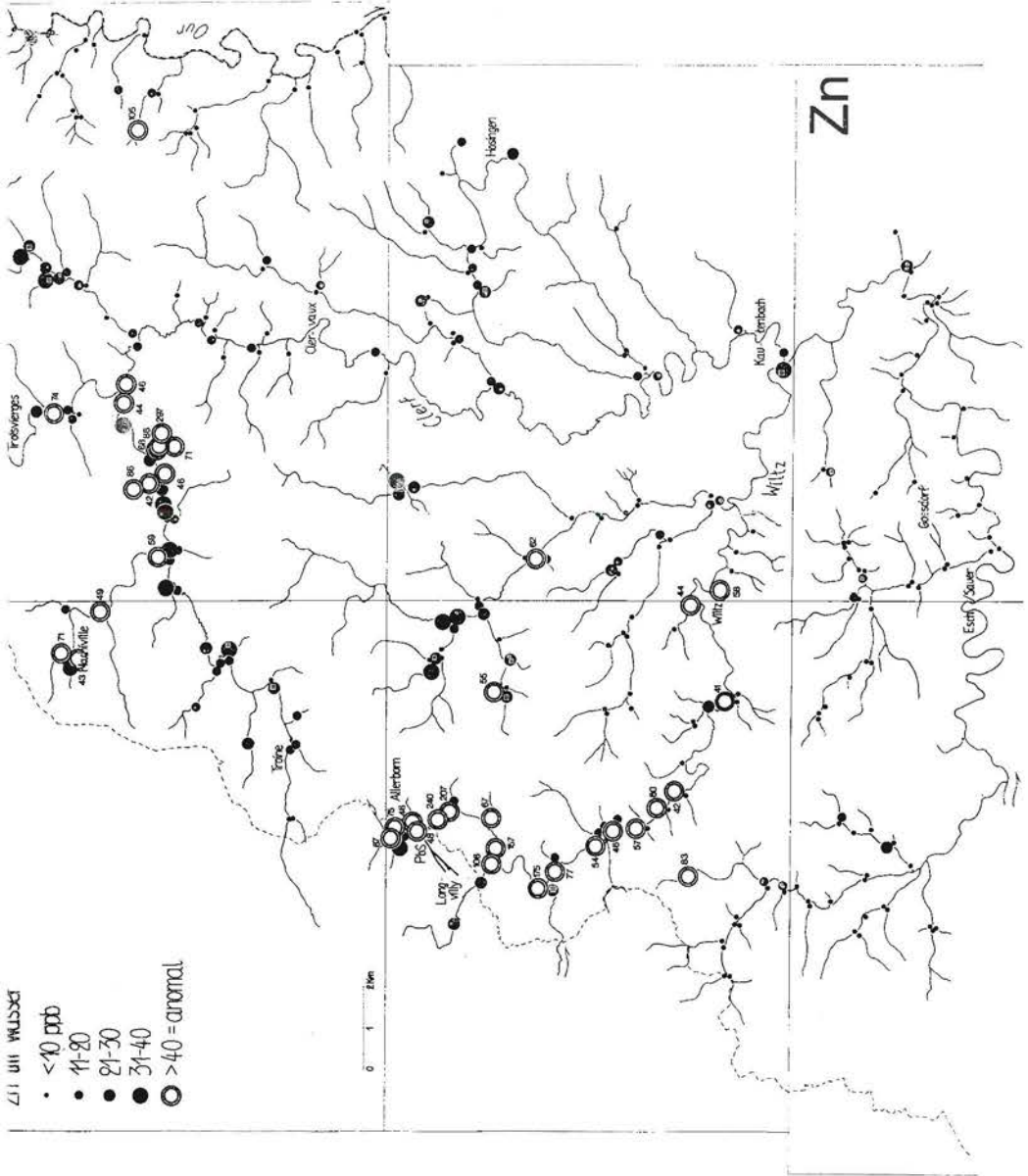


Abb. 3: Regionale Verteilung von Zink im Wasser. Der Schwellenwert (40 ppb) zu anomalen Gehalten ist wie für die Abb. 4-10 rechnerisch nach der Formel $T = M + 2S$ (Median + 2 mal Standardabweichung) bestimmt.

Östlich von Allerborn zieht sich bis zur Clerf ein Gebiet mit erhöhten, z. T. anomalen Zn-Werten hin, wovon die Probe 178 mit 56 ppb sicherlich durch Abwässer verschmutzt ist.

Im Südwesten ist die einzige anomale Probe (307), mit 83 ppb interessant, da die im Osten anschließenden Bäche stark erhöhte Metallgehalte in den Sedimenten zeigen. Auffallend ist, daß der gesamte südliche Bereich, auch um die Grube Goesdorf, zumeist Werte unter dem Background aufweist.

Ein breiter Streifen in der streichenden, nördlichen Fortsetzung des Allerborner Ganges zeigt dagegen hohe, oft sogar anomale Zn-Gehalte. Es liegt hier sicherlich ein natürlich erhöhter Background vor, obwohl einige anomale Werte auf kommunale Abwässer zurückzuführen sind (109-110, 102-104, 15, wohl auch 95). Eine echte Anomalie mögen wohl die hohen Werte nördlich von Hachiville signalisieren, da sie nicht durch Verschmutzung erklärt werden können.

Einen interessanten Aspekt lieferte die Nachbeprobung im August, zu einer Zeit, in der die Wasserführung der Bäche im wesentlichen aus Grundwasser stammte. Die bereits aufgefundenen Anomalien wurden zwar alle bestätigt, durchweg aber lagen die Zn-Gehalte niedriger als die der ersten Beprobung. Dies entspricht einer ähnlichen Beobachtung von NOWAK & PREUL (1971) für Gewässer des Oberharzer Erzbezirkes. Der mögliche Grund hierfür wurde bereits angedeutet: die im Oberflächen- und besonders im Bodenwasser mitgeführten Kolloid- und Schwebpartikel, die einen großen Teil der Zinkmenge adsorptiv transportieren, nehmen mit der Gesamtschüttung zu. Der Anteil in echter ionogener Lösung wird durch den erhöhten Wasserfluß dagegen verdünnt. Bei der Nachbeprobung im August wurde im wesentlichen das ionogen gelöste Zink erfaßt.

3.2. *Verteilung von Zink im Sediment (Abb. 4)*

In den Sedimenten liegen der Background für HCl-lösliches Zn bei 95, die Schwelle zu anomalen Gehalten bei 200 ppm. Für letztere stimmen die rechnerisch und graphisch ermittelten Werte sehr gut überein.

Die regionale Verteilung entspricht der in den Wässern: hohe Gehalte im Westen und im Norden, sonst durchweg niedrige Gehalte. In stärkerem Maße sind Proben unterhalb von Siedlungen anomal, so nordwestlich von Hosingen und südlich von Kautenbach.

Der Bereich von Goesdorf fällt diesmal durch lokal leicht erhöhte Gehalte auf. Die drei hohen Werte an der Saueremündung sind womöglich auf industrielle Verschmutzer zurückzuführen, wie die abnorm hohen Chrom-Gehalte dieser Proben vermuten lassen.

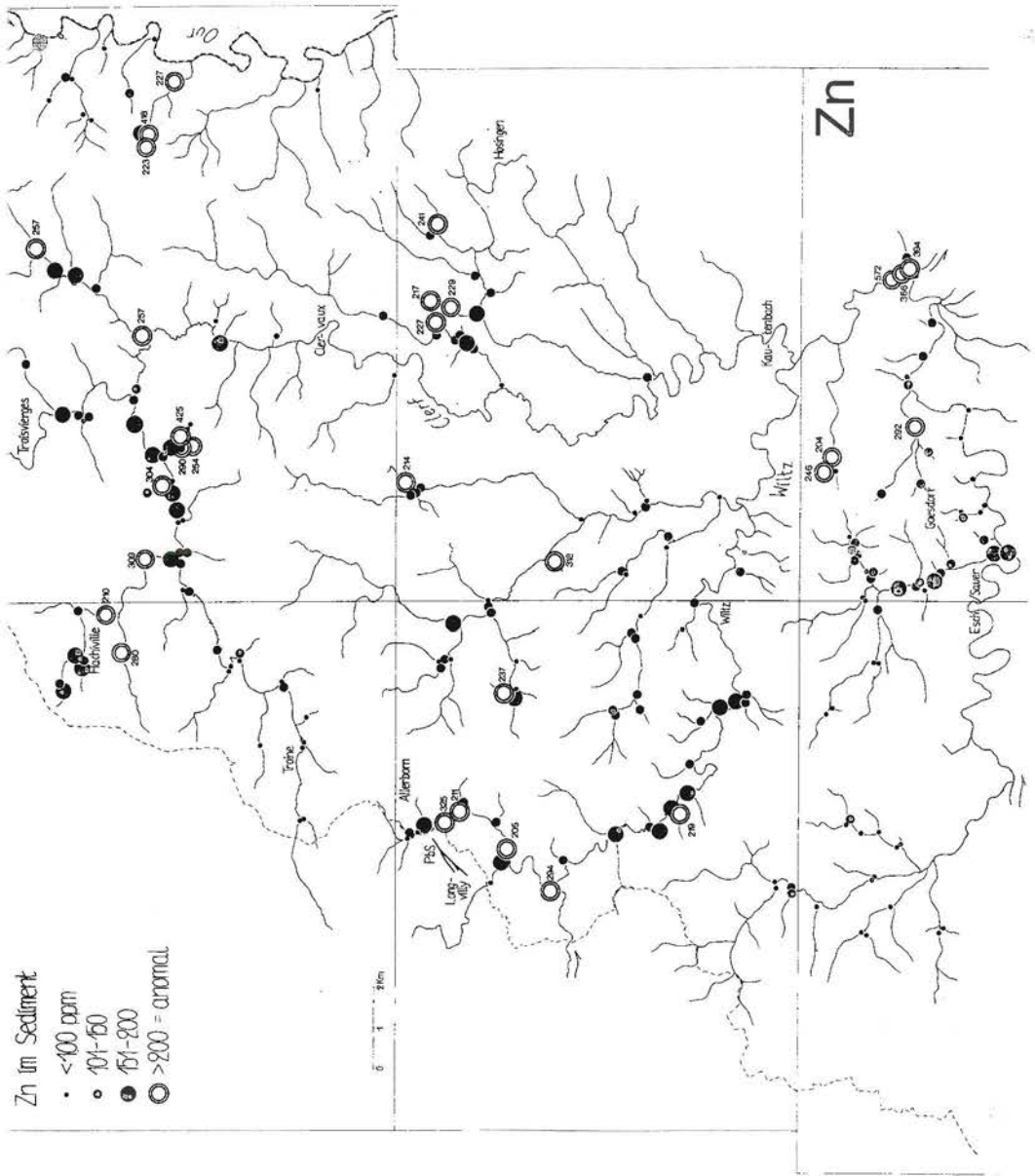


Abb. 4: Regionale Verteilung von Zink im Sediment. Bei allen dargestellten Elementen handelt es sich um den in HCl leicht löslichen Anteil der Kornfraktion $< 200 \mu$ der alluvialen Bachsedimente.

3.3. Verteilung von Blei im Sediment (Abb. 5)

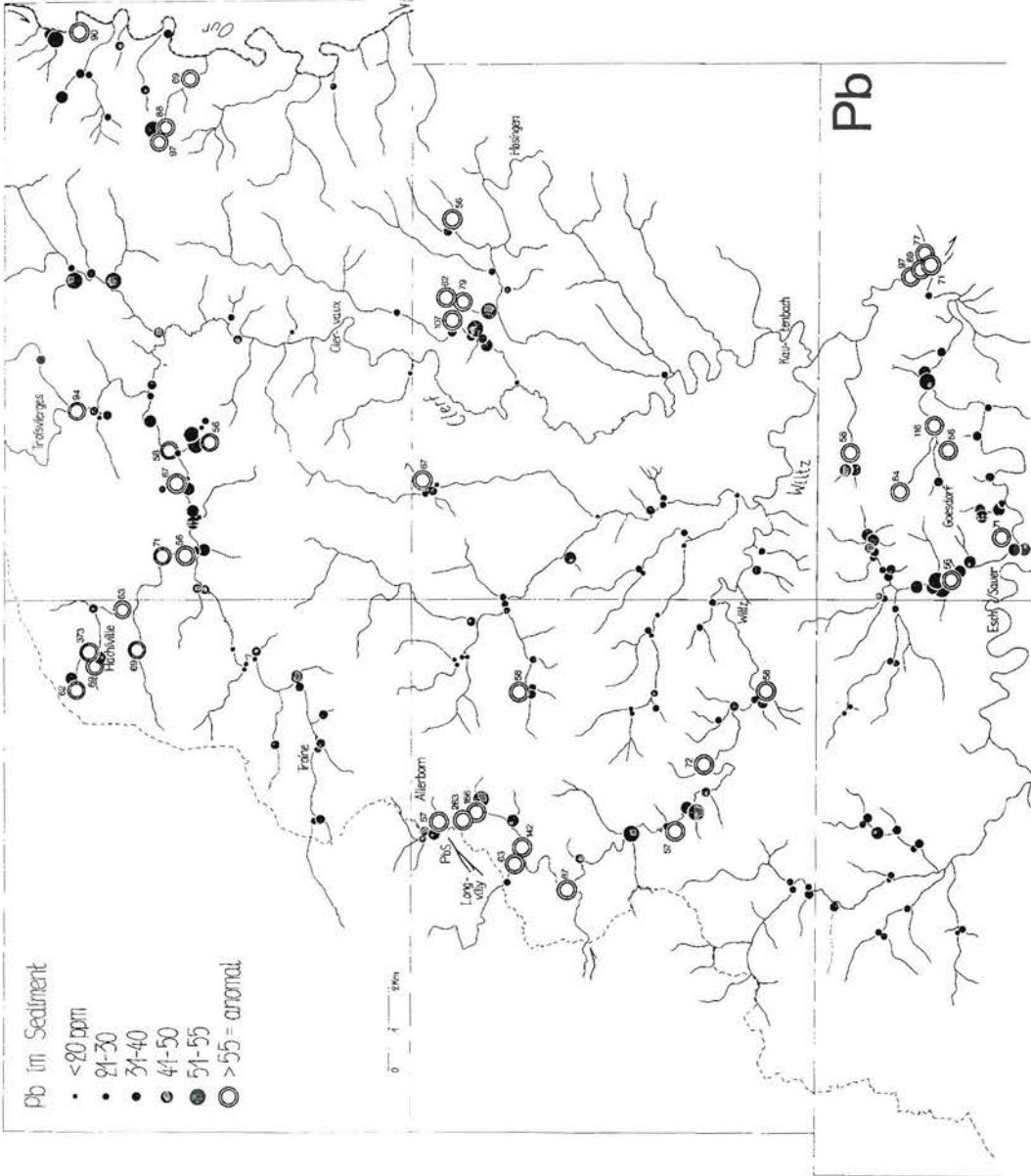


Abb. 5: Regionale Verteilung von Blei im Sediment.

Der Pb-Background liegt bei 27 ppm, anomal sind Gehalte über 55 ppm, ein Wert der rechnerisch und graphisch übereinstimmend festgelegt wurde.

Im wesentlichen ist die Verteilung von Pb identisch mit der von Zn, entsprechend dem relativ hohen Korrelationskoeffizienten beider Elemente (Tab. 2). Die vom Zn beschriebenen Anomalienbereiche werden bestätigt, wenn auch eine leichte Verschiebung der Maximalwerte zu beobachten ist. Die Gebiete um die beiden bekannten Lagerstätten sind vergleichsweise an Pb angereichert, die als kontaminiert vermuteten Proben mit hohen Zn-Werten relativ Pb-arm. Diese Verschiebung des Pb/Zn-Verhältnisses ist eventuell zur Identifizierung von echten Anomalien benutzbar (Kap. 3.9.). Das Gebiet um Goesdorf ist durch mehrere anomale Werte oder solche im Threshold-Bereich deutlich gekennzeichnet. Die Erzanalysen haben ja auch bis zu 3000 ppm Pb in den Antimoniten nachgewiesen. Zn ist dagegen nur unwesentlich angereichert.

3.4. *Verteilung von Kupfer im Sediment (Abb. 6)*

Der Cu-Median beträgt 10 ppm, der Threshold zu anomalen Werten liegt übereinstimmend nach beiden Methoden bei 25 ppm.

Das regionale Bild der Cu-Verteilung unterscheidet sich grundlegend von denen des Pb und Zn. Es ist eindeutig eine Verschiebung der erhöhten und anomalen Gehalte nach Osten zu beobachten, wo ja auch die Kupferlagerstätte von Stolzenburg zu finden ist. Bei Hachiville und Allerborn treten keine Anomalien auf, die Cu-Werte sind dort sogar extrem niedrig. Sehr stark betont wird dagegen jetzt der weitere Bereich um die Goesdorfer Gänge, eine Folge der hier vorliegenden gemeinsamen Paragenese mit Kupferkies. Auf das sporadische Auftreten von Chalkopyrit in Quarzgängen der Umgebung wurde bereits in Kap. 1.1. hingewiesen.

Beständig sind weiterhin diejenigen Anomalien, deren Metallgehalte wohl anthropogen verursacht sind. Eventuell gibt die polymetallische Zusammensetzung, die kaum einer natürlichen Paragenese entspricht, die Möglichkeit, «falsche», durch Abwässer verursachte Anomalien zu erkennen.

3.5. *Verteilung von Antimon im Sediment (Abb. 7)*

Bei einem Backgroundwert von 2,5 ppm entspricht der rechnerisch ermittelte Threshold von 9 ppm dem scharfen Knick in der Summenkurve der Antimon-Häufigkeitsverteilung.

Die Erzanalysen haben gezeigt, daß Sb auch im Allerborner Bleiglanz und in den Gangquarzen der weiteren Umgebung von Allerborn mit recht hohen Gehalten vertreten ist. Trotzdem sind im Gangbezirk nur wenige Werte im Thresholdbereich zu beobachten.

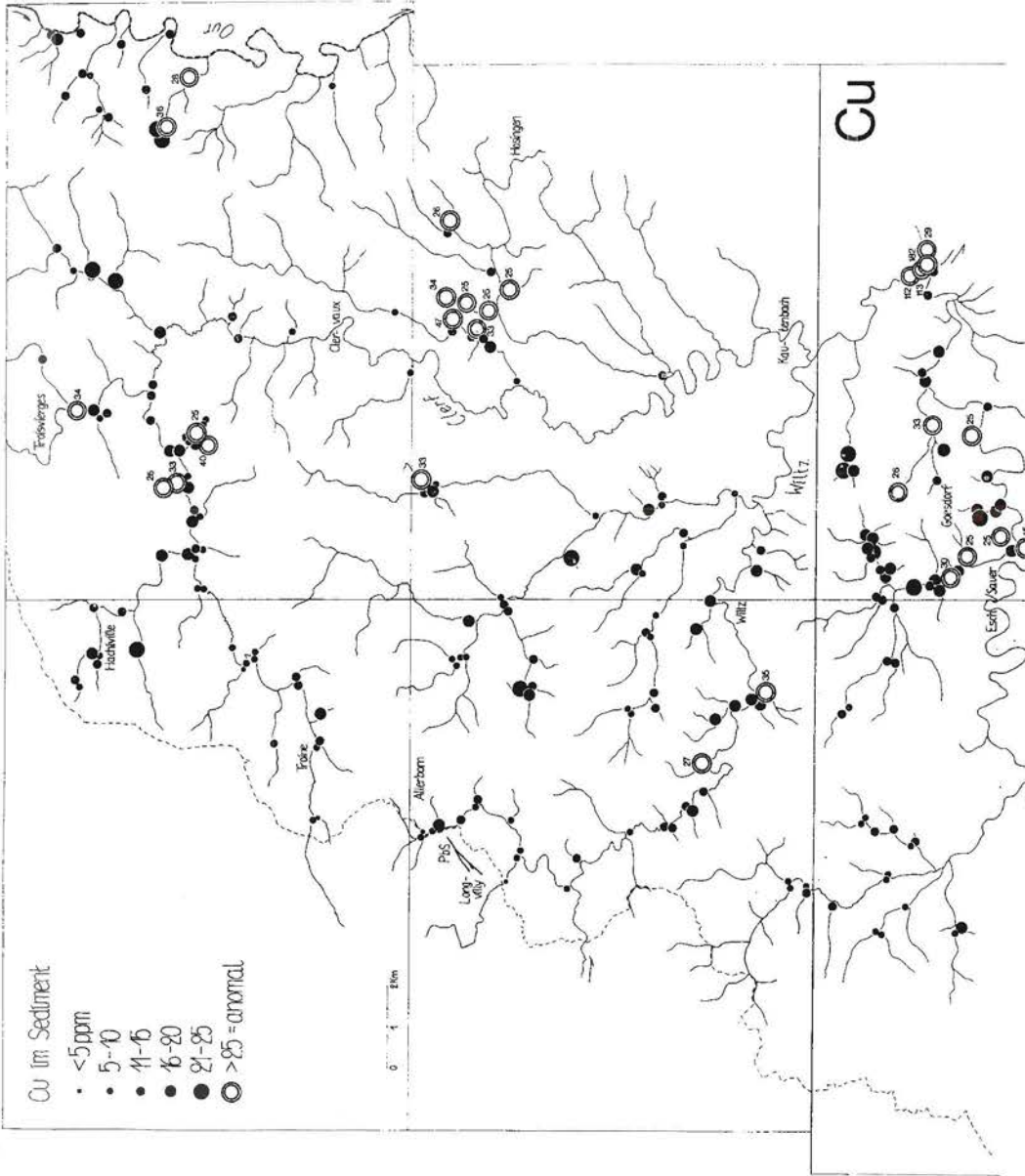


Abb. 6: Regionale Verteilung von Kupfer im Sediment.

Eine starke Häufung von anomalen Proben tritt im zentralen Abschnitt der Wiltz auf, auch in solchen Proben, die bei den Hauptelementen kaum erhöhte Gehalte aufweisen. Die Umgebung von Goesdorf zeigt nicht die erwarteten Sb-Anomalien. Wohl sind regional leicht erhöhte Werte zu verzeichnen, aber nur der von der Grubenthalde entwässernde Bach besitzt mit 15 ppm anomal hohe Gehalte.

Auch Sb ist im Gebiet nordwestlich von Hosingen angereichert, der äußerste Nordosten ist dagegen wie der Südwesten durch Werte im Backgroundlevel ausgezeichnet. Im Einzugsgebiet des Troinebaches liegen die bei anderen Elementen durch Anomalien gekennzeichneten Proben im Thresholdniveau. Auch der oberste Troinebach, in der Fortsetzung des Allerborner Ganges, zeigt erhöhte Sb-Gehalte.

Die wenig scharf umgrenzten Anomalien, dafür die generell erhöhten Gehalte von Sb in einem breiten Nordwest-Südost streichenden Gürtel, dürften der starken Migrationsfreudigkeit des Elements von Vererzungszentren aus entsprechen.

3.6. *Verteilung von Nickel im Sediment (Abb. 8)*

Die untersuchten Sedimente führen im Mittel 36 ppm Ni, Werte über 60 ppm sind als anomal anzusehen.

Ein Hauptzentrum anomaler und stark erhöhter Ni-Werte liegt um Goesdorf, wenn die eigentlichen Antimonerze nach den Analysen auch weniger als 50 ppm Ni enthalten. Pyrithaltige Proben aus Goesdorf wie aus Allerborn dagegen zeigen Ni-Anreicherungen bis 185 ppm. So sind auch die Proben im Ausbiß des Allerborner Ganges anomal. Der Troinebach zeigt sehr gleichmäßige Werte im Backgroundbereich, wogegen die Gebiete südlich und nördlich von Hachiville auch bei Ni anomal sind. Die möglicherweise anthropogen kontaminierten Proben im unteren Troinebach zeigen normale Gehalte.

Viel Ni und z. T. auch stark anomale Gehalte finden sich im Nordosten. In der Anomalie nordwestlich von Hosingen ist jedoch nur noch eine Probe anomal.

3.7. *Verteilung von Kobalt im Sediment (Abb. 9)*

Die Summenkurve der Kobaltverteilung ist nahezu unimodal, wie die Verteilungsgerade ausweist, die nur durch einen schwachen Knick im mittleren und oberen Bereich abgewinkelt ist. Der oberste Knickpunkt entspricht dem rechnerischen Thresholdwert von 16 ppm, bei einem Background von 10 ppm. Die sehr geringe Standardabweichung von nur 3,4 ppm läßt bereits eine recht gleichmäßige Verteilung der Co-Gehalte erwarten.

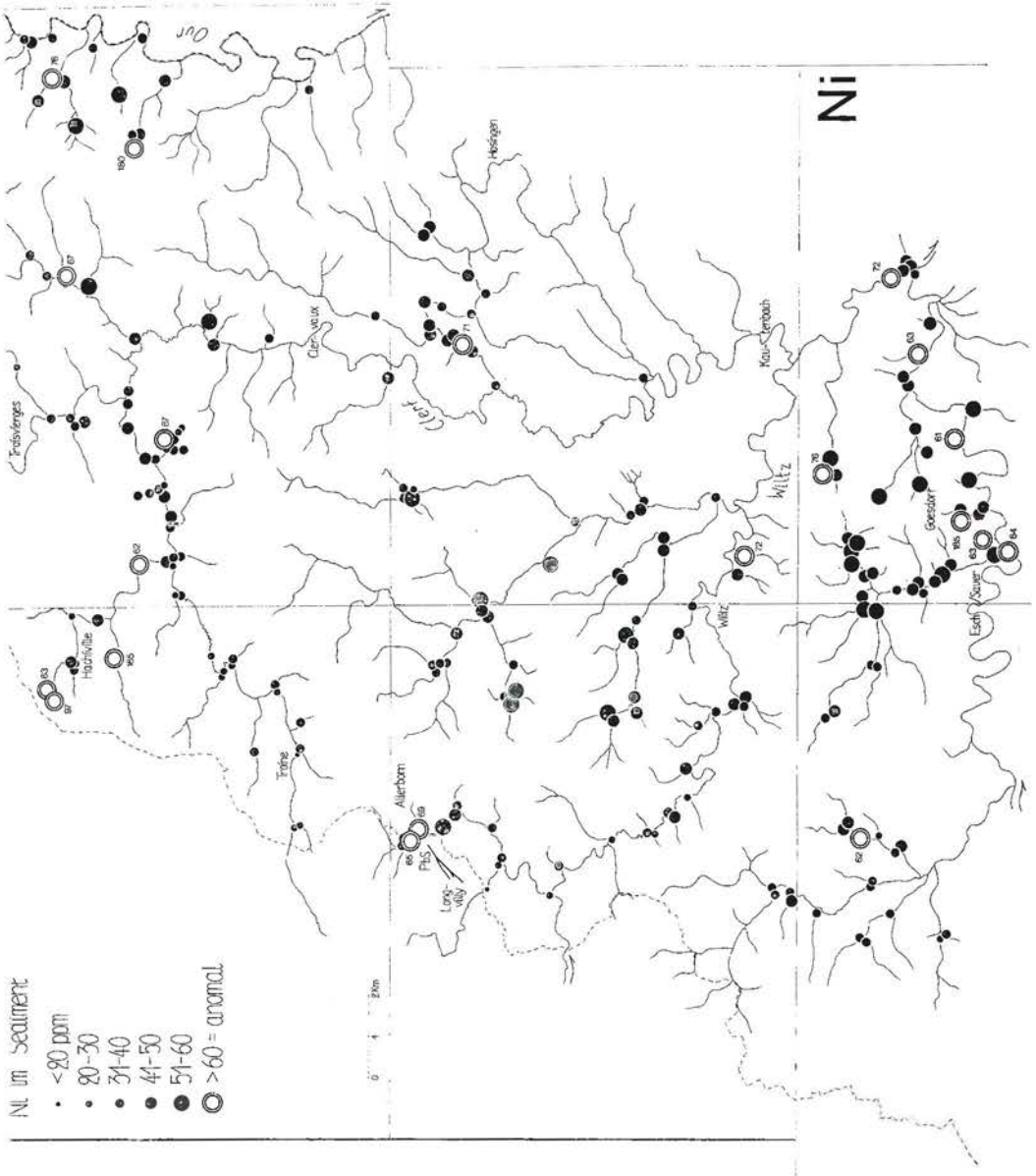


Abb. 8: Regionale Verteilung von Nickel im Sediment.

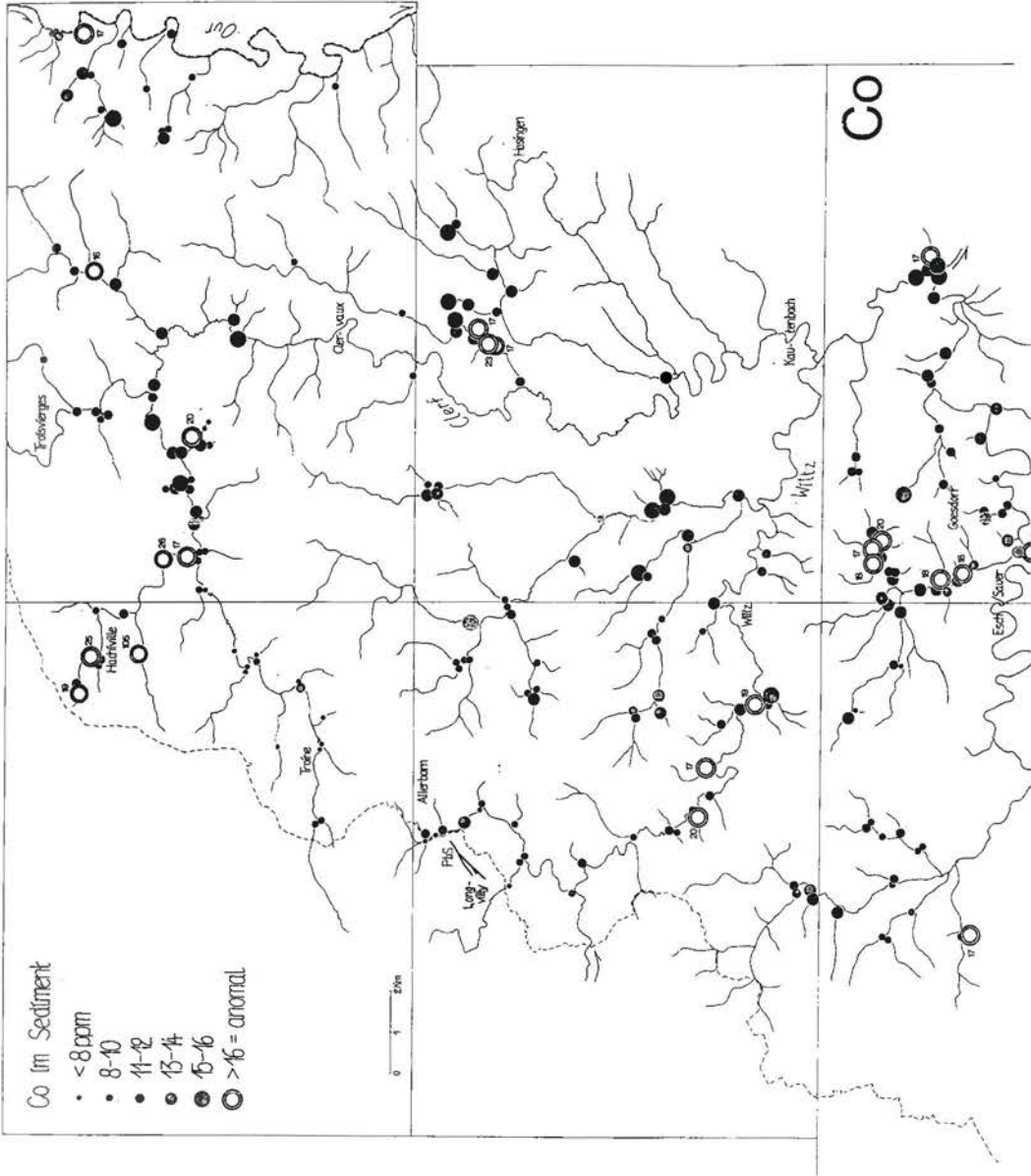


Abb. 9: Regionale Verteilung von Kobalt im Sediment.

Die hohe Korrelation mit Ni (Tab. 2) bedingt ein sehr ähnliches Verteilungsbild, nur sind die Gegensätze zwischen wenig schwankenden Untergrundwerten und anomalen Proben krasser als dort. Erhöhte Gehalte sind um Goesdorf, an der Wiltzmündung, im zentralen Gebiet, nordwestlich Hosingen und im nördlichsten Untersuchungsgebiet zu beobachten. Allerborn zeigt nur direkt unterhalb der Halde eine Probe mit leicht erhöhten Co-Werten, sonst liegen die Gehalte hier wie im oberen Troinebach noch unter dem üblichen Background. Angereichert ist Co wie auch Ni in der pyritischen Phase der Allerborner und Goesdorfer Erze, aber auch sehr stark in sekundären Pyritsprößlingen der s2-Schiefer im Westen. Umso mehr erstaunen die hier sehr niedrigen Co-Werte (z. B. im Troinebach). Auch Co ist wie Ni in den offensichtlich kontaminierten Proben nur sehr schwach oder gar nicht angereichert.

3.8. *Verteilung von Silber im Sediment (Abb. 10)*

Die Bleiglanze von Allerborn enthalten bis zu 100 ppm Ag. Auch die Sb-Erze von Goesdorf und der Kupferkies von Stolzenburg sind gegenüber dem Nebengestein um ein mehrfaches an Ag angereichert. Wegen der sehr großen Mobilität des Ag im Verwitterungsgang erschien das Element für die vorliegenden Erzparagenesen als geeigneter Indikator.

Die Bachsedimente führen im Mittel (Median) 70 ppb Ag, die Gehalte streuen aber so stark (Standardabweichung = 139 ppb), daß die rechnerische Ermittlung des Thresholdwerts (ca. 400 ppb) nicht angebracht sein dürfte. Er ist zwar konsequenterweise in der Verteilungskarte des Ag als Grenzwert zu anomalen Gehalten angenommen worden, nach der stark gegliederten Summenkurve der Abb. 15 dürfte er aber eher zwischen 170 und 200 ppb liegen.

Ag ist sehr eng mit Zn, ferner mit Cu und Pb korreliert, die Verteilung auf der Karte entspricht in groben Zügen der dieser Elemente. Die beiden bekannten Vorkommen von Allerborn und Goesdorf, besonders letzteres, machen sich sehr klar durch hohe Ag-Gehalte bemerkbar. Zwischen beiden Vorkommen vermitteln die abnorm hohen Werte der Proben 202-210 an der oberen Wiltz. In der nördlichen Verlängerung des Allerborner Ganges erscheinen erhöhte Gehalte, ebenso im Einzugsbereich der unteren Troine, wo allerdings die Proben 109-110 und diejenigen südlich von Troisvierges alle Anzeichen anthropogener Kontamination tragen, ebenso wie die beiden anomalen Proben im Nordosten. Nur relativ schwache Anreicherungen zeichnen die sonst so deutliche Anomalie nordwestlich von Hosingen aus. Die höchsten Ag-Werte treten in der unteren Wiltz auf, wo aber bereits auf eine mögliche industrielle Verschmutzung hingewiesen wurde.

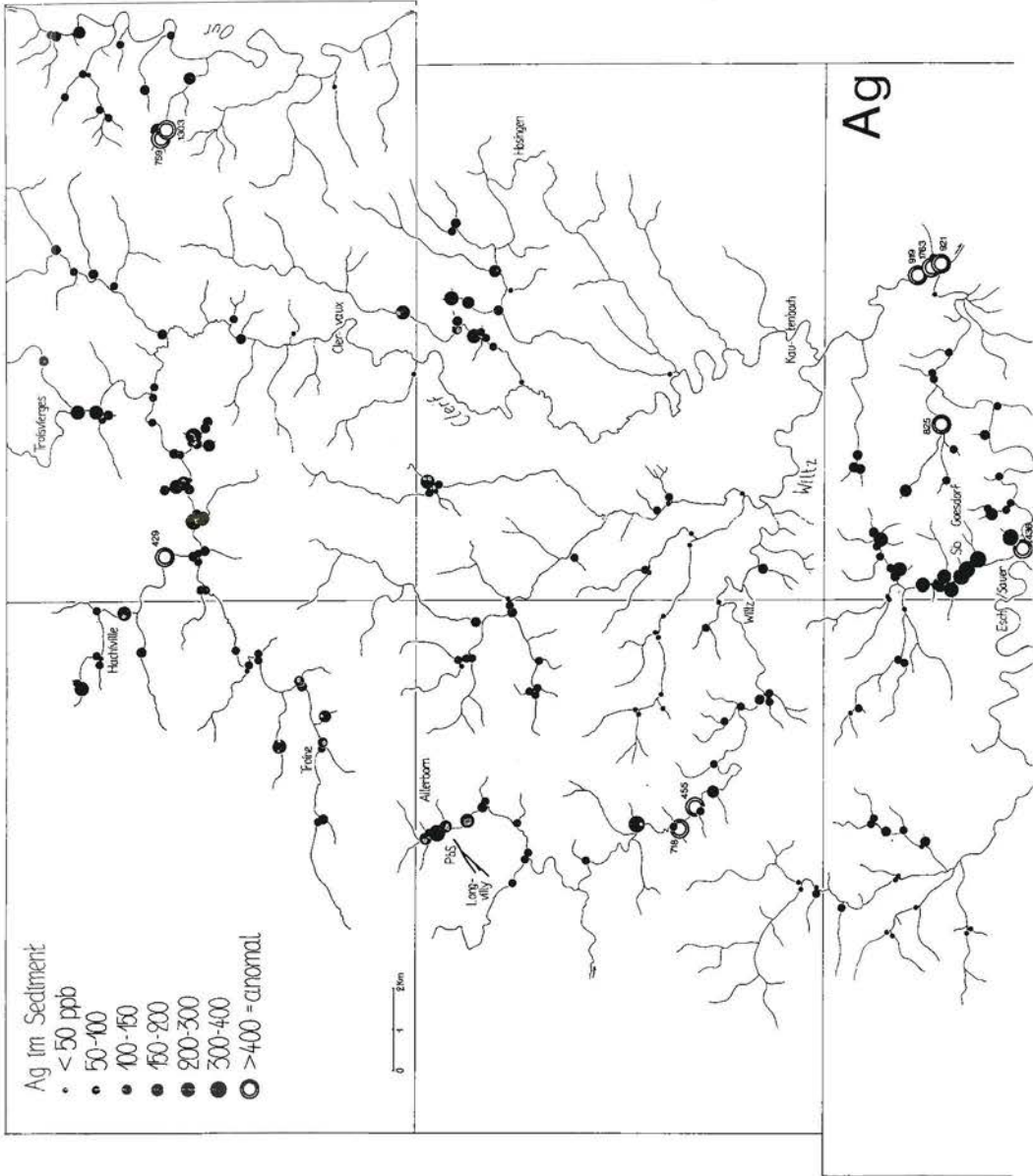


Abb. 10: Regionale Verteilung von Silber im Sediment.

3.9. *Verteilung von Pb/Zn (Abb. 11) und Ni/Co*

In den Erzproben der drei Typparagenesen im Prospektionsgebiet ist Blei gegenüber dem Zink um ein Vielfaches angereichert. (Tab. 1). HILLMER (1972) hat auf die Bedeutung des Pb/Zn-Quotienten für das Auffinden hydrothermalen Gangvererzungen hingewiesen: Gangbezirke im Raum Meggen (Sauerland) machen sich durch hohe Pb/Zn-Verhältnisse bemerkbar. Angewandt auf den Öslinger Raum ergibt sich das in Abb. 11 gezeigte Bild. Aus einem nur wenig streuenden Background von nur 0.1-0.3 treten Bereiche mit doppelten, z. T. dreifach höheren Verhältnissen klar hervor. Die höchsten Werte sind hierbei um den Gang von Allerborn und in einem weiten Halo um die Lagerstätte Goesdorf zu beobachten. Höhere Quotienten in der nordöstlichen Fortsetzung des Allerborner Ganges deuten auf mögliche weitere Vererzungen hin. Augenfällige Anomalien mit sehr hohen Verhältnissen gibt es nördlich von Hachiville und in der nordöstlichen Ecke des Untersuchungsgebietes. Auch die bei fast allen Elementen auftretende Anomalie nordwestlich Hosingen ist realisiert, wie auch an der mittleren Wiltz und an der Mündung des Flußes in die Sauer erhöhte Quotienten auftreten. Der bei den Einzelementverteilungen sehr unauffällige SW-Quadrant zeigt in einem SW-NE-Streifen eindeutig ein zum Pb hin verschobenes Verhältnis.

Die erhöhten Pb/Zn-Verhältnisse fallen somit großräumig mit den Bereichen der Einzelementanomalien zusammen (außer im äußersten SW). Die Proben der kontaminierten, von den Dörfern entwässernden Bäche dagegen sind diejenigen, die eine starke Zn-Anreicherung gegenüber dem Pb aufweisen, also gerade die niedrigsten Pb/Zn-Verhältnisse besitzen.

Das Verhältnis Ni/Co (hier nicht dargestellt), das von HILLMER (1972) ebenfalls als Indikator für Gänge vorgeschlagen wurde, verhält sich im Norden und Westen streng parallel zu den Pb/Zn-Werten, betont sogar noch krasser durch hohe Werte die Gangfortsetzung von Allerborn nach NE, das Gebiet im NE an der Our und die südwestliche Anomalie an der Sauer. Im Goesdorfer Bereich und nördlich der Wiltz dagegen sind eher umgekehrte Verhältnisse zu beobachten, d. h., es weisen in diesen Gebieten die Proben mit relativ niedrigen Pb/Zn-Quotienten höchste Ni/Co-Werte auf. Möglicherweise sorgen hier Co-reiche Kupfererzparagenesen für niedrige Ni/Co-Verhältnisse in Gangnähe. (Siehe auch HILLMER 1972)

3.10. *Verteilung der Faktorladungen aus der Hauptkomponentenanalyse im Q-Modus*

3.10.1. *Faktor 1 (Abb. 12)*

Die Faktorladungen auf dem ersten Faktor (Varianzanteil = 53,4%) sind in Abb. 12 als Kreise mit Radien proportional zum

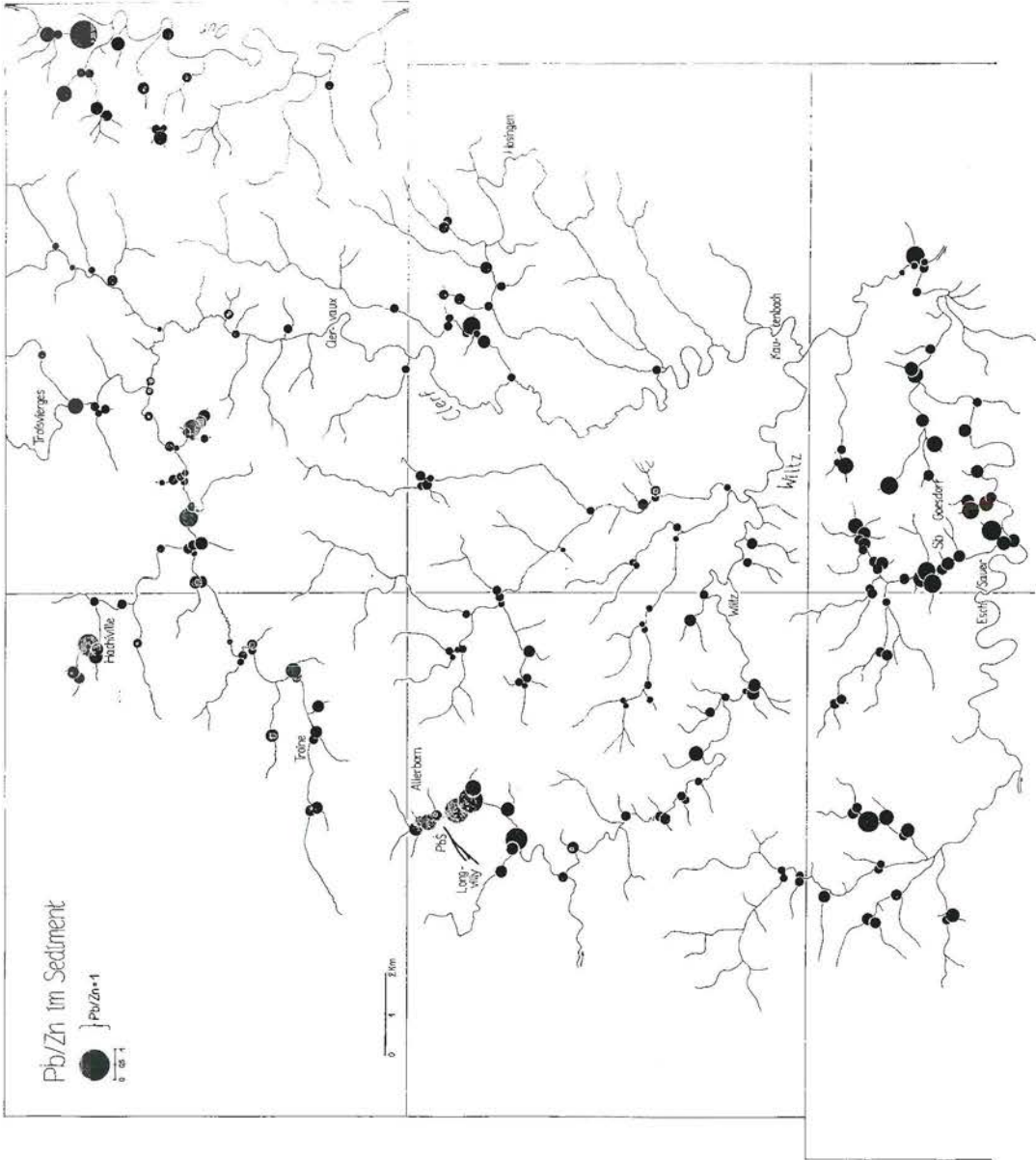


Abb. 11: Regionale Verteilung der Blei/Zink-Verhältnisse im Sediment.

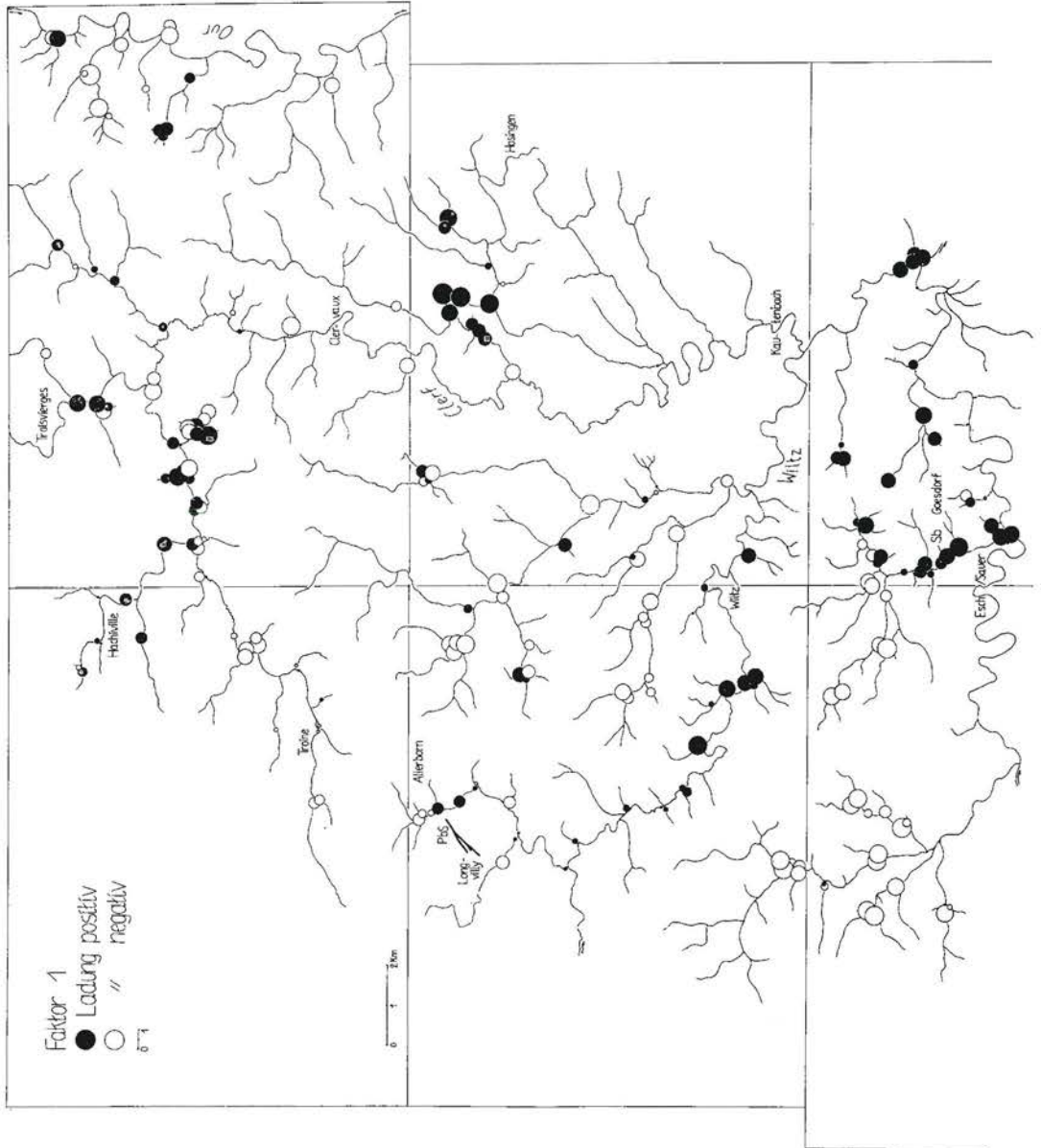


Abb. 12: Regionale Verteilung der Ladungen auf dem ersten Faktor einer Hauptkomponentenanalyse im Q-Modus: Rechenprogramm CABFAC von KLOVAN & IMBRIE (1971). Hohe positive Ladungen bezeichnen anomale Proben.

positiven bzw. negativen Wert der Ladung dargestellt. Die regionale Verbreitung der positiven Extremladungen ergibt ein bereits bekanntes Bild. Sie gruppieren sich um die von den meisten Elementen und ihren Verhältnissen abgebildeten Anomalien. Fast alle Proben mit positiven Ladungen enthalten mindestens ein Element in anomal hohen Konzentrationen. Ladungen um den Null-Bereich und negative Ladungen charakterisieren die Gebiete, in denen die meisten Elemente Backgroundwerte oder Gehalte darunter führen. Der Faktor 1 repräsentiert als «Mengenfaktor» damit «polymetallische» Anomalien, in denen abnorme Gehalte einer größeren Zahl der untersuchten Elemente den anomalen Charakter von Proben bestimmen. Damit werden Proben, in denen nur ein Metall etwa aufgrund von Kontamination angereichert ist, weniger stark gewichtet. Es werden allerdings auch indirekte Anreicherungen durch künstliche Milieuveränderungen (z. B. Sulfidfällung) hervorgehoben.

Der regionale Trend, der bei der Einzelelementverteilung zu beobachten ist, läßt sich an den Ladungen des ersten Faktors nicht erkennen, da alle Elemente annähernd gleichermaßen zur Faktoriadung beitragen. Das ist nicht mehr der Fall bei den anderen Faktoren, die durch unterschiedliche Elementkombinationen bestimmt werden.

3.10.2. Faktor 2 (Abb. 13)

Eine gänzlich andere Rolle kommt dem zweiten Faktor (Varianzanteil = 19,7%) zu. Seine Ladungen sind durch das regional verschiedenartige Verhalten der Elemente zueinander bestimmt. Verschiedene Kombinationen miteinander korrelierter Elemente («Metallparagenesen») sind für die positive bzw. negative Ladung verantwortlich. Zur positiven Ladung des zweiten Faktors tragen Sb, untergeordnet auch Co, Ni und Cu bei, zur negativen Ag, Pb und Zn, je höher bzw. niedriger die Ladungen, umso stärker. Diese Elementkombinationen entsprechen genau den durch eine Korrelationsanalyse im R-Modus (Tab. 2) definierten Paragenesen, die sich einmal dem Antimonerz (mit schwacher positiver Korrelation zum Co), zum anderen dem Bleierz zuordnen lassen.

Interessant ist nun die Verteilung der beiden Paragenesen. Positive Ladungen bestimmen die gesamte südliche Hälfte des Untersuchungsgebietes, besonders stark den zentralen Bereich, wo kein negativer Wert auftritt. Dieses Gebiet fiel bereits durch die recht hohen Antimongehalte auf. Im Umkreis der Goesdorfer Sb-Grube herrscht vor allem nördlich des Ganges die Ag-Pb-Paragenese vor, die auch im Westen und Norden überwiegt, wenn dort auch häufiger neutrale Proben (Werte um null) und sporadisch positive Ladungen mittlerer Höhe auftreten.

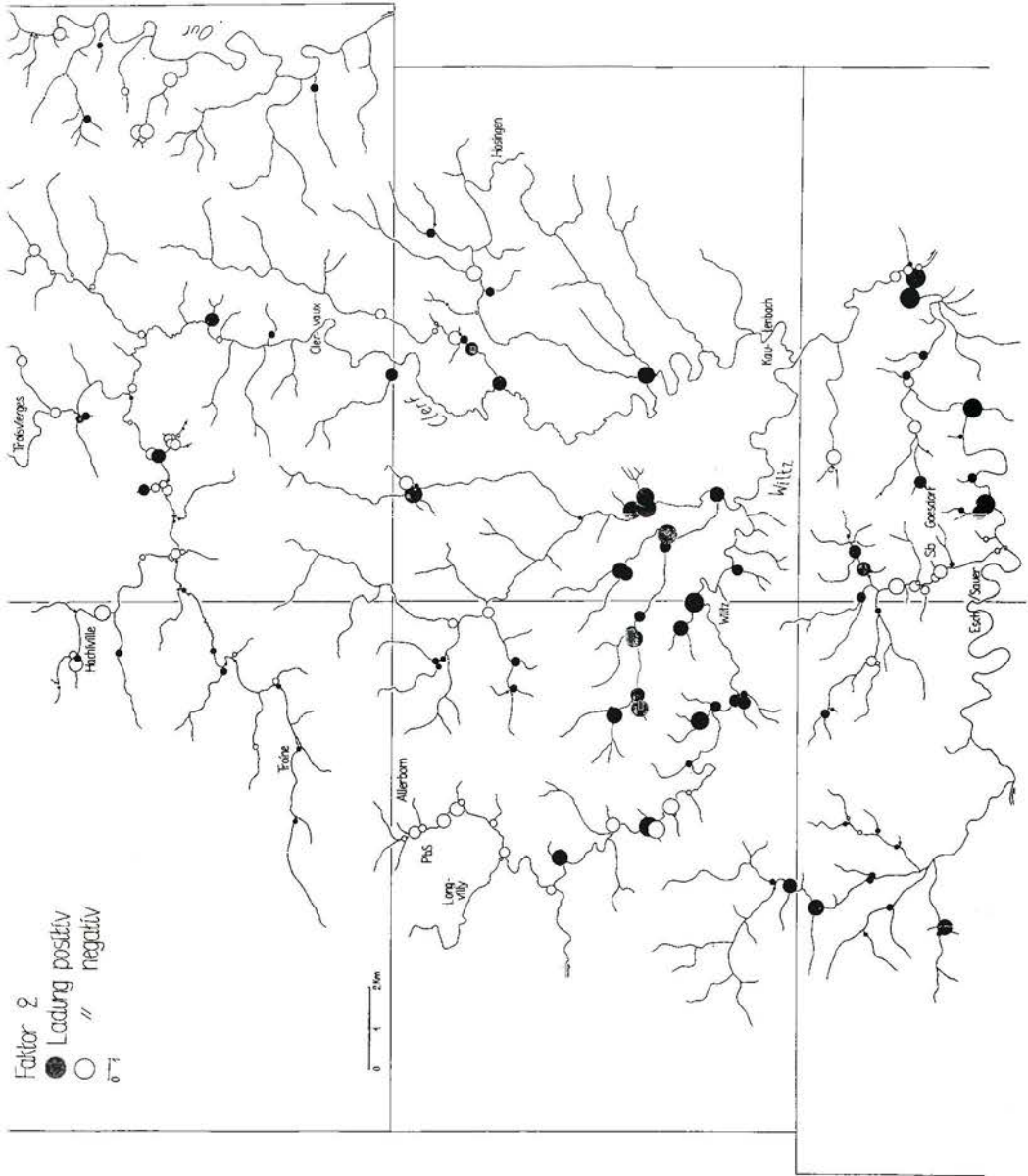


Abb. 13: Regionale Verteilung der Ladungen auf dem zweiten Faktor.

3.10.3. Faktor 3 (Abb. 14)

Die beste regionale Trennung in Metallparagenesen (Provinzen) wird erreicht durch den dritten Faktor (Varianzanteil = 19,8%), zu dessen positiven Ladungen nur schwach Sb und Ag, zu dessen *negativen* Ni, Co und Cu beitragen. Richtungsbestimmend für den dritten Faktor ist im wesentlichen das korrelierte Elementepaar Ni-Co. Sb und Ag liegen im Faktorenraum weit auseinander, wie es ihrer geringen Korrelation entspricht, ihre Ladung auf der Faktorenachse ist außerdem nur sehr gering.

Sehr deutlich steht einer Westprovinz mit hohen positiven Ladungen eine Ostprovinz mit negativen Werten gegenüber. Das Verteilungsbild entspricht also hauptsächlich dem von Ni und Co wobei die höchsten negativen Ladungen meist mit den Maximalgehalten der beiden Elemente zusammenfallen.

4. Diskussion der Ergebnisse

Die regionale Verteilung von Elementen, Elementverhältnissen und besonders der Ladungen des ersten Faktors von Hauptkomponentenanalysen erlauben das Auffinden mehrerer Gebiete, die sich anomal gegenüber der weiteren Umgebung (dem Background) verhalten. Das schwierigste Problem liegt nun in der Interpretation dieser Anomalien. Es kommen im Ösling dabei vor allem drei Ursachen für das Zustandekommen der Anomalien in Frage:

- anthropogene Kontamination
- petrographischer Wechsel im Untergrund
- metallogenetische Ursachen («echte Anomalien»)

4.1. Anthropogene Kontamination

Verschmutzungen sind in diesem industriell kaum erschlossenen, hauptsächlich landwirtschaftlich genutzten Raum fast ausschließlich durch direkte Immissionen häuslicher und kommunaler Abwässer in die Vorfluter bedingt. Untergeordnet spielen abgeschwemmte Düngemittel und Pestizide aus der Landwirtschaft eine Rolle. Einflüsse aus Industriebetrieben sind lediglich unterhalb der größeren Ortschaften (Troisvierges, Clervaux, Wiltz, Esch/Sauer mit dem westlich der Ortschaft gelegenen Staudamm, u. a.) zu erwarten. Der komplexe Vorgang menschlichen Einwirkens auf fließende Gewässer ist aus neuerer Literatur bekannt (u. a. FÖRSTNER & MÜLLER 1979). Um wenigsten Anhaltspunkte für den Verschmutzungsgrad im Untersuchungsgebiet zu gewinnen, wurden im Wasser Na (Abb. 16) und K, im Sediment das industriell vielseitig genutzte, in den Erzen nicht angereicherte Cr parallel zu den übrigen Elementen bestimmt.

Kontaminationen durch alten Bergbau beschränken sich ausschließlich auf die direkte Umgebung der Gruben Allerborn und

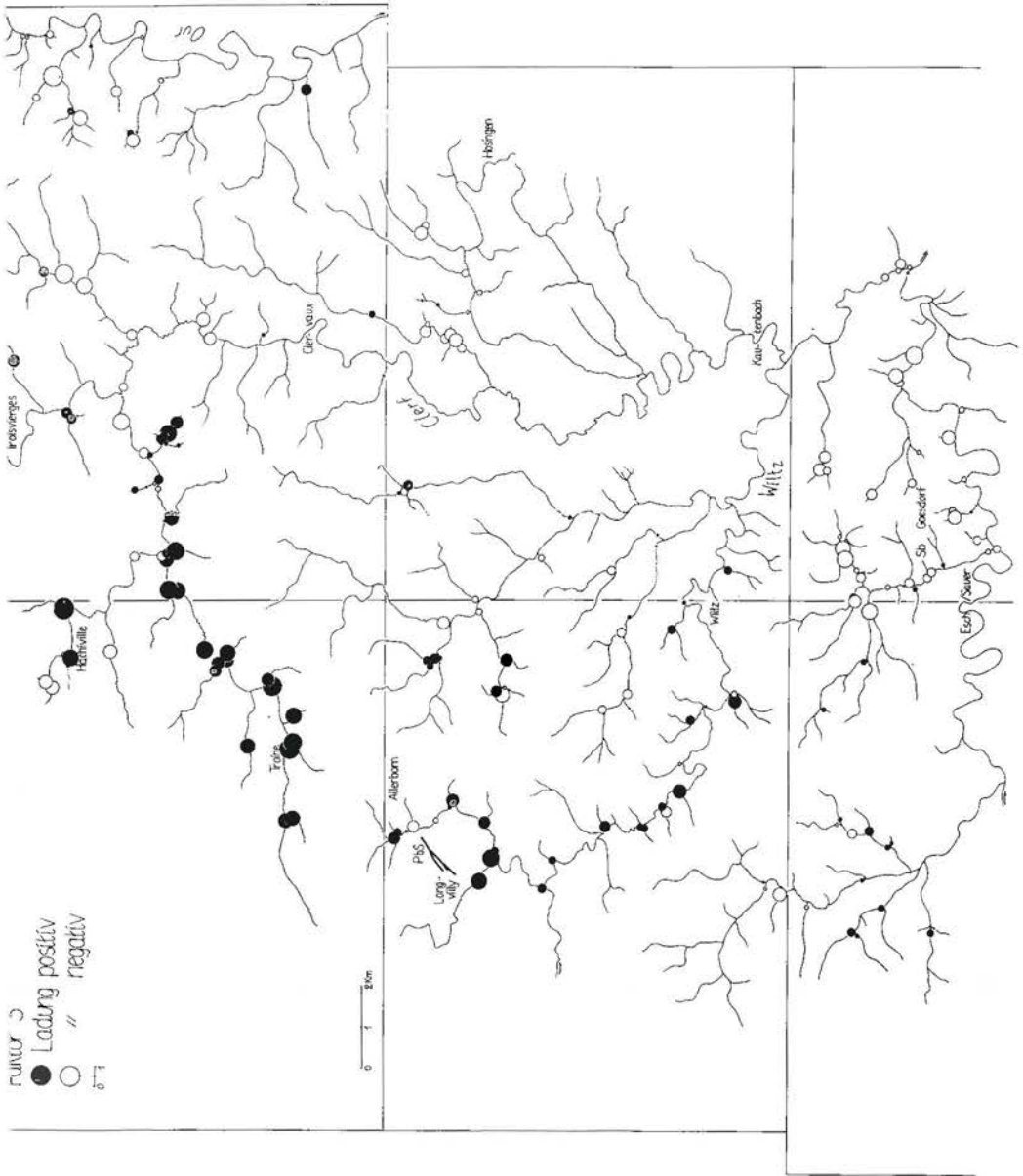


Abb. 14: Regionale Verteilung der Ladungen auf dem dritten Faktor.

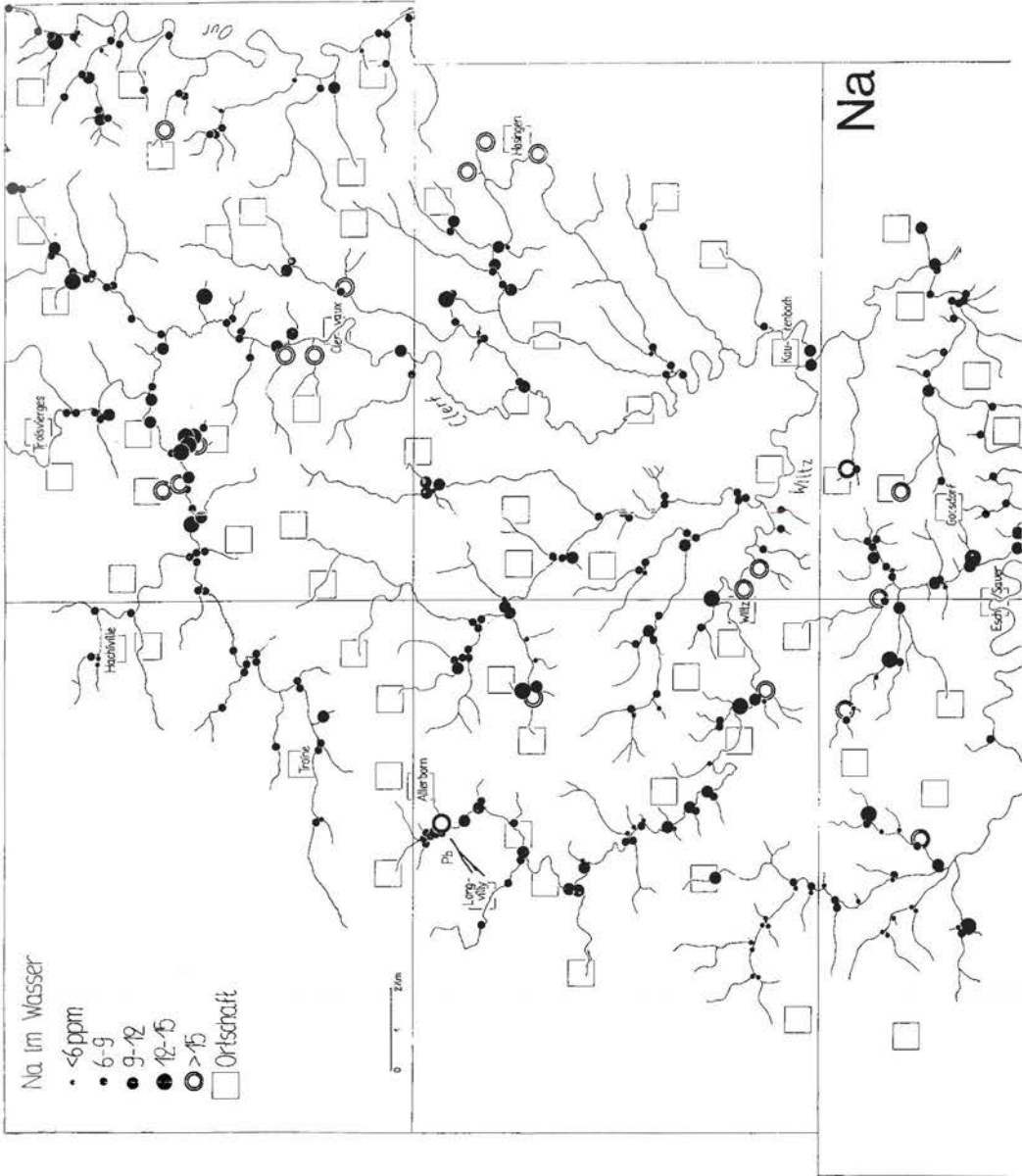


Abb. 16: Regionale Verteilung der Natriumgehalte im Wasser. Als große offene Quadrate eingetragen sind die Zentren größerer Ortschaften. Unterhalb dieser sind die Natriumgehalte meist stark erhöht.

Goesdorf mit ihren Halden und Entwässerungsstollen. Vor allem die Halde bei Allerborn macht sich durch starke Immissionen von Pb und Zn im ganzen Unterlauf der Wiltz bemerkbar.

Die Verteilung von Na (Abb. 16) zeigt deutlich eine enge Bindung hoher Na-Gehalte an Siedlungsgebiete. Gleiches Verhalten ist bei K (nicht dargestellt) zu beobachten. Eine schwach positive Korrelation zwischen dem Na-Gehalt des Wassers und der Summe der Metallgehalte im Sediment bestärkt die Annahme, daß in den Gewässern mit kommunalen Abwässern fast immer auch erhöhte Metallgehalte zu finden sind. Dies trifft nicht nur für die gängigen Metalle Zn, Cu und Pb zu, die in häuslichen Abwässern und Fäkalien angereichert sind, sondern auch, und z. T. in noch stärkerem Maße, für Spuren wie Ag und Sb. Da zumindest Sb hier nicht direkt auf anthropogenem Weg in das Sediment gelangen kann, müssen wir für die anthropogene Anreicherung in unserm Gebiet zwei wirksame Mechanismen annehmen:

- die direkte Zufuhr von Elementen und deren adsorptive Bindung an das Sediment, was für einige Metalle (Zn, Pb, Cu, vielleicht auch Ag) zutrifft. Hier spielen vor allem auch industrielle Immissionen eine Rolle, wie anhand eines Vergleichs mit der Cr-Verteilung festgestellt werden kann. Es sind nur sehr wenige Proben, die aus einem Mittel von ca. 40 ppm Cr mit sehr hohen Werten herausragen. Dazu gehören die drei Proben an der Wiltzmündung (33-33b) mit Gehalten von über 300 ppm, die Proben 167, 60 und 95 mit 100-200 ppm. Hier sind nicht alle untersuchten Metalle angereichert sondern jeweils nur eine gewisse Auswahl. In den häuslichen Abwässern mit polymetallischer Anreicherung dagegen ist Cr zwar nicht über 60 ppm enthalten, zeigt aber generell, wohl auch aufgrund des nachfolgend beschriebenen Anreicherungsprozesses, leicht erhöhte Werte.
- die indirekte Anreicherung chalkophiler Elemente durch Schaffung eines anoxischen, reduzierenden Milieus. Natürliche Ursachen hierfür, wie sie etwa in Bezirken stagnierenden Wassers zu suchen wären, sind bei dem starken Gefälle fast aller Bäche auszuschließen. Dagegen fällt eine Reihe von Proben unterhalb Dörfern bereits durch ihre schwarze Farbe und ihren intensiven H_2S -Geruch auf. Hier werden außer den direkt eingeleiteten Elementen auch die natürlich zugeliferten Metalle als Sulfide gefällt. Ni und Co, die eher siderophilen Charakter zeigen, sind hier kaum angereichert. Diese Proben, die durchweg auch hohe Na-Gehalte im Wasser erkennen lassen, stellen somit das mehr oder weniger verstärkte Abbild der natürlich angelieferten Metallparagenese dar, weshalb sie auch die Verschiebungen der beobachteten Provinzen mitmachen. Daß darüber hinaus je nach den physikochemischen Bedingungen, abgesehen von unterschiedlich starker direkter Zufuhr, einzelne Metalle (etwa Zn) selektiv angereichert werden können, ist evident.

Der Versuch, eine Abtrennung der anthropogen hervorgerufenen, falschen Anomalien mit Hilfe multivariater Statistik zu erreichen, gelingt nicht. Die Elementkombinationen unterscheiden sich in diesem Fall wohl nicht genügend von natürlichen Anomalien. Die regionalen Unterschiede (petrologischer oder metallogenetischer Art) überwiegen demgegenüber (Abb. 13, 14).

4.2. *Einfluß des geologischen Untergrundes auf die regionale Verteilung der Metalle*

Die deutliche Aufteilung des Untersuchungsgebietes in großräumige Metallprovinzen läßt zuerst einmal eine durch den Gesteinswechsel bedingte, unterschiedliche geochemische Zusammensetzung des Untergrundes im Einzugsgebiet der Bäche und Flüsse vermuten. Diese Ursache ist jedoch im Ösling sowohl für die großregionalen Veränderungen in der Metallführung der Sedimente als auch für die lokalen Anreicherungen auszuschließen. Der nur geringfügige stratigraphisch bedingte Fazieswechsel (Sandsteine bis sandige Tonschiefer), verläuft nahezu senkrecht (SE-NW) zu den Grenzen der beobachteten Metallprovinzen.

Ein sicher vorhandener Korngrößeneffekt, der allerdings durch das Absieben des groben Korns bereits stark abgeschwächt wurde, betrifft allenfalls einzelne Proben, dürfte sich aber keineswegs lokal oder gar regional bemerkbar machen.

Offensichtlich ist dagegen eine Verknüpfung der Hauptanomalien (Allerborn und Goesdorf) mit Bereichen gehäufte Gangquarzvorkommen. Eine mögliche Bindung von Anomalienrichtungen an das tektonische Störungsmuster des Gebietes (LUCIUS 1950, BRÜHL 1966, ORZEKOWSKY 1980) ist angedeutet :

- streichende Störungen mit SW-NE-Richtung (z. B. Gang von Allerborn)
- Quer- und Diagonalstörungen mit NW-SE bis N-S-Richtungen (Gänge von Goesdorf und Stolzemburg).

5. *Schlußfolgerungen und Ausblick*

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, daß die Bestimmung von mehreren Haupt- und Pfadfinderelementen im Wasser und in Sedimentproben, auch in stark besiedelten und landwirtschaftlich genutzten Gebieten es ermöglicht, bekannte Vererzungen zu erkennen und damit eventuell auch noch unbekannt Mineralisationen aufzuspüren. Die Verteilung von Einzelelementen, die sehr stark von anthropogenen Einflüssen abhängt, führt weniger zum Ziel als vielmehr die komplexe Variation aller Elemente, die mit Hilfe multivariater statistischer Methoden untersucht werden kann. Hiermit werden auch regionale Trends und Metallprovinzen deutlich, deren Kenntnis eine gezielte Prospektion auf bestimmte Lagerstättentypen erleichtert. Etwa auf Cu im Osten,

auf Sb im Süden und im zentralen Bereich, auf Pb im Nordwesten und Norden.

Das Abtrennen natürlicher Anomalien von solchen anthropogenen Ursprungs ist in diesem Falle (auch durch Vergleich mit natürlichen Paragenesen) schwer möglich, da anthropogen verursachte reduzierende Bedingungen in O₂-armen Vorflutern zur Anreicherung des natürlichen Metallangebots führen und damit echte Anomalien vortäuschen. Die Verteilung bestimmter Metallverhältnisse (Pb/Zn, Ni/Co) zeigt jedoch einen möglichen Weg zur Unterscheidung auf.

Diese grobe strategische Vorerkundung eines bis dahin noch nicht untersuchten Raumes hat so zur Abgrenzung mehrerer höffiger Gebiete geführt, die als Schwerpunkte für zukünftige Detailprospektionen dienen können. Außer an eine Verdichtung des bestehenden Probenrasters ist in den Anomaliegebieten vor allem auch an eine Erweiterung des untersuchten Elementbestandes zu denken (etwa die Pfadfinderelemente Hg, As, Cd, usw.). Wie die Arbeiten von SONDAG et al. (1972) in Allerborn und von KULMS & FRIEDRICH (1970 b) in Bleialf (Eifel), mit einer Allerborn sehr ähnlichen Mineralisation gezeigt haben, sind es in einem zweiten Schritt geochemische Bodenuntersuchungen in den Gebieten erhöhter Metallgehalte, die, wesentlich unempfindlicher gegenüber anthropogener Beeinflussung, am ehesten Aussagen erlauben über Existenz, Art, Ursache und genaue Lage echter Anomalien.

LITERATUR

- ANTUN, P.: (1970) — Porphyroblastes de pyrite sédimentaire à clivage octaédrique de l'Ardenne Luxembourgeoise. — *Annls. Soc. géol. Belg.*, 93, S. 407-414, Liège.
- ANTUN, P.: (1971) — Le prolongement de la zone métamorphique de Bastogne au Grand-Duché de Luxembourg. — *Annls. Soc. géol. Belg.*, 94, S. 153-163, Liège.
- BARNES, H. L. (ed.): (1967) — *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* — 670 S., New York.
- BLAIN, C. F. & ANDREW, R. L.: (1977) — Sulfide weathering and evaluation of gossans in mineral exploration. — *Minerals Sci. Engn.*, 9, S. 119-150, Johannesburg.
- BOYLE, R. W.: (1974) — Elemental associations in mineral deposits and indicator elements of interest in geochemical prospecting. — *Geol. Surv. Canada paper 74-75*, 40 S., Ottawa.
- BRÜHL, H.: (1966) — Ein Beitrag zur Geologie der Siegener Schichten im Gebiet von Laroche-Bastogne-Houffalize (Ardennen). — *Geol. Mitt.*, 5, S. 301-376, Aachen.
- FÖRSTNER, U. & MÜLLER, G.: (1974) — *Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung*. — 225 S., Springer, Berlin-Heidelberg-New York.

- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, C.T.W.: (1979) — Metal pollution in the aquatic environment. — 486 S., Springer, Berlin.
- GASSER, U. & THEIN, J.: (1977) — Das syngenetische Sulfidlager Meggen im Sauerland (Struktur, Geochemie, Sekundärdispersion). — ForschBer. Landes NRhein-Westf., 2620, Fachgruppe Chemie, 171 S., Opladen.
- GRANIER, Cl.: (1973) — Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères. — 143 S., Paris.
- HAWKES, H.E. & WEBB, J.S.: (1965) — Geochemistry in mineral exploration. — 415 S., New York-Tokyo.
- HILLMER, E.: (1972) — Geochemische Untersuchungen im Bereich der Lagerstätte Meggen, Rheinisches Schiefergebirge. — 162 S., Diss. Aachen.
- KLOVAN, J.E. & IMBRIE, J.: (1971) — An algorithm and FORTRAN-IV program for large scale factor analysis and calculation of factor scores. — Mathematical geology, 3, S. 61-77, New York.
- KULMS, M. & FRIEDRICH, G.: (1970a) — Geochemische Untersuchungen der Flußwässer und Flußsedimente im Triasdreieck von Maubach-Mechernich-Kall / Nordeifel. — Geol. Mitt., 10, S. 1-40, Aachen.
- KULMS, M. & FRIEDRICH, G.: (1970 b) — Geochemische Untersuchungen der Böden im Lagerstättengebiet Bleialf/Eifel. — Geol. Mitt., 10, S. 305-332, Aachen.
- LEVINSON, A. A.: (1974) — Introduction to exploration geochemistry. — 612 S., Calgary, Canada.
- LUCIUS, M.: (1948) — Les gîtes métallifères de l'Ösling. — Rev. techn. Luxembourg, 40. Jahrg., S. 195-236, Luxemburg.
- LUCIUS, M.: (1950) — Geologie Luxemburgs, Bd. IV: das Ösling. — Publ. Serv. Géol. Luxembourg, 174 S., Luxemburg.
- MARTIN, H., LECOMTE, P. & SONDAG, F.: (1971) — Distribution du cuivre dans les alluvions et les roches de la vallée de la Lomme (de Recogne à Grupont) — Annls. Soc. géol. Belg., 94, S. 277-293, Liège.
- NICHOL, J., GARRETT, R.G. & WEBB, J.S.: (1969) — The role of some statistical and mathematical methods in the interpretation of regional geochemical data. — Econ. Geol., 64, S. 204-220, New Haven, Connect.
- NOWAK, H. & PREUL, F.: (1971) — Untersuchungen über Blei- und Zinkgehalte in Gewässern des Westharzes. — Beih. geol. Jb., 105, 68 S., Hannover
- OLADE, M.A., van de KRAATS, A.H. & UPKONG, E.E.: (1979) — Effects of environmental parameters on metal dispersion patterns in stream sediments from the lead-zinc belt, Benue Trough, Nigeria: using Factor Analysis. — Geol. & Mijnbouw, 58, S. 341-351, Amsterdam.
- ORZEKOWSKY, H.: (1977) — Geologische und geomagnetische Untersuchungen im Raum Allerborn - Longvilly - Oberwampach (Luxemburg-belgisches Grenzgebiet westlich Clervaux) — 6 S., 3 Anl., unpubl. Bericht.

- ORZEKOWSKY, H.: (1980) — Geologische und geomagnetische Untersuchungen im Raum Allerborn (Nord-Luxemburg) — Unpubl. Dipl. Arbeit, Uni. Bonn.
- SANTOS OLIVEIRA, J.M.: (1978) — Application of factor analysis to the geochemical prospecting data in the Arouca-Castro Daire region, northern Portugal. — *Communic. Serv. Geol. Port.*, 63, S. 367-384, Lissabon.
- SIEHL, A. & THEIN, J.: (1978) — Geochemische Trends in der Minette (Jura, Luxemburg/Lothringen) — *Geol. Rundschau*, 67, S. 1052-1077, Stuttgart.
- SMITH, A. Y.: (1964) — Cold extractable «Heavy Metal» in soil and alluvium. — *Geol. Surv. Canada paper*, 63-49, 9 S., Canada.
- SONDAG, F., LECOMTE, P. & MARTIN, H.: (1972) — Détection du filon de galène de la mine de Longvilly (Bastogne) par la géochimie de surface, distribution du plomb et du cuivre dans les sols et cartographie de leurs isoteneurs. — *Annls. Soc. géol. Belg.*, 95, S. 413-424, Liège.
- VINOGRADOV, A. P.: (1959) — The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soil. — 209 S., New York.
- WEYER, K. U.: (1972) — Ermittlung der Grundwassermengen in den Festgesteinen der Mittelgebirge aus Messungen des Trockenwetterabflusses. — *Geol. Jb.*, C3, S. 19-114, Hannover.

TABELLE 1

| Mineralbestand, Herkunft | Zn | Pb | Cu | Sb | Ni | Co | Ag | Mn | Fe (%) |
|---|-------|-------|--------|--------|-------|-------|------|------|--------|
| 1) Kupferkies, Ankerit / Stolzenburg | 25 | 64 | 24,13% | 179 | 0,00 | 3,3 | 2,23 | 4683 | 28,85 |
| 2) Antimonit, Quarz, Tonschiefer / Goesdorf | 68 | 326 | 40 | 37,24% | 5,4 | 2,2 | 0,62 | 197 | 0,91 |
| 3) Antimonit, Quarz / Goesdorf | 193 | 2392 | 44 | 62,53% | 34,4 | 3,3 | 0,55 | 55 | 1,52 |
| 4) Quarz, Pyrit, Antimonit, Tonschiefer / Gdf. | 699 | 251 | 32 | 0,55% | 19,2 | 7,7 | 0,34 | 1295 | 4,55 |
| 5) Antimonit, Quarz / Goesdorf | 1680 | 3289 | 357 | 35,46% | 43,6 | 9,9 | 0,71 | 530 | 2,43 |
| 6) Pyrit, Tonschiefer / Goesdorf | 156 | 94 | 49 | 355 | 167,5 | 50,3 | 1,29 | 190 | 33,40 |
| 7) Bleiglanz / Allerborn | 5220 | 57,7% | 33 | 4520 | 13,4 | 9,5 | 46,3 | 122 | 2,63 |
| 8) Bleiglanz, Markasit, Tonschiefer / Allerborn | 306 | 8,89% | 112 | 212 | 150,7 | 53,6 | 30,9 | 293 | 28,34 |
| 9) Bleiglanz, Sandstein / Allerborn | 4240 | 28,0% | 36 | 872 | 5,0 | 2,4 | 92,6 | 69 | 1,87 |
| 10) Markasit, Bleiglanz, Zinkblende, Sandsteinbrekzie / Allerborn | 1,18% | 1,07% | 161 | 222 | 185,1 | 131,2 | 29,9 | 452 | 23,79 |
| 11) Pyritkristall (epigenetisch), s-2 Schiefer genaue Herkunft unbekannt | 31 | 85 | 16 | 33 | 59,5 | 69,7 | 0,52 | 139 | 18,68 |
| 12) Pyritkonkretion, sedimentär, e-1 Schiefer / Kleinmillen, bei Probe 82 | 121 | 198 | 58 | 40 | 41,0 | 39,0 | 0,36 | 4235 | 5,71 |
| 13) Gangquarz / nordöstl. Fortsetzung des Allerborner Ganges | 52 | 254 | 12 | 90 | 13,3 | 11,8 | 1,29 | 1397 | 2,28 |

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung von Erzen und erzfreien Gangquarzen aus dem Prospektionsgebiet. Die Analysen wurden mit der Atomabsorption im Filtrat eines Königswasseraufschlusses durchgeführt. Die Bestimmung der Hauptminerale erfolgte mit dem Diffraktometer. Die Gehalte sind in ppm angegeben, sofern nicht anders vermerkt.

TABELLE 2

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pb | 0,619 | | | | | |
| Cu | 0,632 | 0,318 | | | | |
| Sb | 0,247 | 0,139 | 0,201 | | | |
| Ni | 0,296 | 0,253 | 0,192 | 0,214 | | |
| Co | 0,249 | 0,160 | 0,140 | 0,445 | 0,603 | |
| Ag | 0,682 | 0,419 | 0,675 | 0,068 | 0,260 | 0,041 |
| | Zn | Pb | Cu | Sb | Ni | Co |

Tab. 2: Matrix der Korrelationskoeffizienten der in den Sedimenten untersuchten Elemente. Koeffizienten $> 0,180$ sind bei 99% signifikant.

Impr. Hermann, Luxbg.