

**BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ**

**Geotechnische Serie, Lieferung 55**

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der

**Schweizerischen Geotechnischen Kommission**

Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

**Geochemische Prospektion im Gebiet der  
Blei-Zink-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellaunen**

(BERNER OBERLAND/SCHWEIZ)

VON

**J. P. SAHEURS**

KOMMISSIONSVERLAG: KÜMMERLY & FREY, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

1975

OFFSETDRUCK HELIOPRINT AG ZÜRICH

## VORWORT DER SCHWEIZERISCHEN GEOTECHNISCHEN KOMMISSION

An der Sitzung der Geotechnischen Kommission vom 16. November 1974 legte Herr Jean-Pierre Saheurs ein Manuskript vor „Geochemische Prospektion im Gebiet der Blei-Zink-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellauenen (Berner Oberland/Schweiz)“. Es handelt sich um einen Teilabschnitt der am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern unter Leitung von Prof. Dr. Th. Hügi ausgeführten Promotionsarbeit „Die Blei-Zink-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellauenen (Berner Oberland/Schweiz)“. Die Kommission nahm die Studie für die Geotechnische Serie der Beiträge zur Geologie der Schweiz entgegen. Sie möchte Herrn Dr. Saheurs für seine eingehende Bearbeitung einer bisher für die Schweiz neuartigen Prospektionsmethode den besten Dank aussprechen. Über den Inhalt der weiteren Abschnitte der Promotionsarbeit orientiert das Vorwort des Verfassers. In verdankenswerter Weise leistete der Autor einen Beitrag an die Durckkosten.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, Oktober 1975

Für die Schweizerische Geotechnische Kommission

Der Präsident: Dr. A. von Moos



# INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort . . . . .	5
Zusammenfassung . . . . .	7
Abstract . . . . .	9
Résumé . . . . .	11
 1 Einleitung . . . . .	 12
1.1 Geographische Lage . . . . .	12
1.2 Geologie und Mineralogie der Lagerstätten . . . . .	12
1.2.1 Lage . . . . .	12
1.2.2 Der sedimentäre Rahmen des Lauterbrunner Kristallins . . . . .	16
1.2.3 Das Lauterbrunner Kristallin . . . . .	17
1.2.4 Die einzelnen Erzfundstellen . . . . .	17
1.2.5 Der Mineralinhalt der Lagerstätten . . . . .	18
1.2.6 Genetische Betrachtungen . . . . .	19
1.3 Geochemische Prospektion . . . . .	20
1.3.1 Allgemeines . . . . .	20
1.3.2 Problemstellung . . . . .	21
1.3.3 Darstellung der geochemischen Daten . . . . .	22
1.3.4 Die statistische Auswertung der Analysenergebnisse . . . . .	23
1.3.5 Analysenmethoden . . . . .	25
 2 Geochemie der Flussedimente . . . . .	 26
2.1 Allgemeines . . . . .	26
2.2 Probennahme . . . . .	26
2.3 Klassifikation des Gewässersystems . . . . .	28
2.4 Übersichtsprospektion im Lauterbrunnental . . . . .	29
2.4.1 Kupfer . . . . .	29
2.4.2 Blei . . . . .	31
2.4.3 Zink . . . . .	33
2.4.4 Barium . . . . .	33
2.5 Detaillierte Prospektion mit Flussedimenten im hinteren Lauterbrunnen- und im unteren Sefinental . . . . .	33
2.5.1 Darstellung der Analysenergebnisse . . . . .	36
2.5.2 Zentralwerte, Schwellenwerte und Korrelationskoeffizienten für Cu, Pb und Zn in den Flussedimenten . . . . .	41
2.5.2.1 Einzugsgebiet: Kristallin . . . . .	41
2.5.2.2 Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente, besonders solche aus der Trias und dem Dogger . . . . .	45
2.5.2.3 Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente im allgemeinen, exkl. solche aus der Trias und dem Dogger . . . . .	46
2.5.2.4 Proben aus der Weissen Lutschine oberhalb von Stechelberg . . . . .	48
2.5.3 Bariumgehalte der Flussedimente . . . . .	48
2.5.4 Zusammenfassung der Resultate der geochemischen Untersuchung der Flussedimente . . . . .	50
 3 Geochemie der Böden . . . . .	 52
3.1 Allgemeines und Zielsetzung . . . . .	52
3.2 Probennahme . . . . .	52
3.3 Übersichtsprospektion (Track-soil-sampling) . . . . .	53
3.3.1 Darstellung der Analysenresultate . . . . .	53
3.3.2 Zentralwerte, Schwellenwerte und Korrelationskoeffizienten für Cu, Pb und Zn in den Böden . . . . .	59
3.3.2.1 Böden über kristallinem Untergrund . . . . .	59
3.3.2.2 Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente . . . . .	60
3.3.3 Zusammenfassung der Resultate der geochemischen Untersuchung der Böden entlang von Wegen . . . . .	60

3.4	Detailprospektion (Bodenprofile)	61
3.4.1	Allgemeines und Übersicht	61
3.4.2	Beschreibung und Diskussion der einzelnen Profile	62
3.4.2.1	Bodenprofil BP 1 : Gute Hoffnung	62
3.4.2.2	Bodenprofil BP 2 : Stägen	64
3.4.2.3	Bodenprofil BP 3 : Ober Ammert	65
3.4.2.4	Bodenprofil BP 4 : Hanalpetli	66
3.4.2.5	Bodenprofil BP 5 : Blättwald-Wang	67
3.4.3	Schlussfolgerungen aus den geochemischen Daten der Bodenprofile	69
4	Gebiete anomaler Metallkonzentrationen in den Flusssedimenten und Böden des hinteren Lauterbrunnens und des vorderen Sennental	70
4.1	Gebiete anomaler Metallkonzentrationen, die bekannten Erzvorkommen zugeordnet werden können	70
4.1.1	Das Gebiet unterhalb dem Abbaurevier Breitlauenenalp	70
4.1.1.1	Flusssedimente	73
4.1.1.2	Bodenproben	74
4.1.2	Das Gebiet der Umgebung des Bergwerkes Gute Hoffnung	74
4.1.2.1	Flusssedimente	74
4.1.2.2	Bodenproben	74
4.1.3	Das Gebiet des westlichen Hanges unmittelbar ober Trachsellauenen	74
4.2	Gebiete anomaler Metallkonzentrationen, die vermuteten Vererzungen zugeordnet werden könnten	75
4.2.1	Das Gebiet der Schlucht	75
4.2.2	Das Gebiet der Nadel	75
4.2.3	Das Gebiet Hanalpetli	76
4.3	Gebiete anomaler Metallkonzentrationen, die keinem bis heute bekannten Erzvorkommen zugeordnet werden können	76
4.3.1	Das Gebiet Holdri	76
4.3.2	Das Gebiet Mühletal	76
4.3.3	Das Gebiet des Schwarzwaldes	76
4.3.4	Das Gebiet Tal	76
4.3.5	Das Gebiet Altläger	77
4.3.6	Die Gebiete anomaler Metallkonzentrationen im Grenzgebiet Kristallin – autochthone Sedimente	77
4.3.7	Übrige Anomalien im Kristallin (vorwiegend mit Sedimentschutt)	78
4.3.8	Die Gebiete anomaler Metallkonzentrationen im Sennental	78
4.3.9	Diskussion über die mögliche Herkunft von Cu, Pb und Zn in den festgestellten Anomalien im helvetischen Dogger und im Grenzbereich Kristallin – autochthone Sedimente im hinteren Lauterbrunnental	78
4.3.9.1	Die Cu-Zn-Ba-Anomalien in den Flusssedimenten der Weissen und Schwarzen Lutschine unterhalb von Lauterbrunnen, bzw. von Grindelwald	78
4.3.9.2	Cu-, Pb- und Zn-Anomalien im Grenzbereich Kristallin – autochthone Sedimente im hinteren Lauterbrunnental	79
5	Schlussfolgerungen für eine geochemische Prospektion in den Alpen	81
5.1	Regionale Übersichtsprospektion	81
5.2	Lokale Übersichtsprospektion	81
5.3	Detailuntersuchungen	82
	Literaturverzeichnis	83
	Geologische Karten	91
	Topographische Karten	91

## VORWORT

Im Rahmen von lagerstättenkundlichen Untersuchungen im westlichen Aarmassiv wurden die Blei-Zink-Baryt Lagerstätten im Lauterbrunnental bei Trachsellauenen untersucht <sup>1)</sup>. Die Resultate dieser Untersuchungen sind in meiner Dissertation dargestellt. Die vorliegende Arbeit stellt einen Teildruck meiner von der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern 1974 angenommenen Dissertation dar. Deren Titel lautet: „Die Blei-Zink-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellauenen (Berner Oberland / Schweiz)“. Die Originaldissertation kann an folgenden Stellen eingesehen werden:

- Stadt- und Universitätsbibliothek, Bern
- Schweizerische Landesbibliothek, Bern
- Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Bern.

Diese gliedert sich in vier Teile:

Teil I: „Geschichte des Bergbaus von Trachsellauenen und der Bergbauversuche auf Bleierze im Berner Oberland“

In diesem Teil werden die fünf festgestellten Perioden bergbaulicher Tätigkeit beschrieben. Die erstmalig festgestellte 1. Abbauperiode (1636 – 1640) wird durch ausführliche Bergwerksrechnungen und Berichte belegt. Die damals von der Bernischen Regierung betriebenen „Oberländischen Bergwerke“ umfassten Bleibergwerke bei Trachsellauenen und Guttannen, ein Schwefelwerk in Krattigen und Eisenbergwerke im Lauterbrunnen- und im Mühltal. Der Bergbau bei Trachsellauenen wurde 1805 eingestellt.

Teil II: „Geologie und Mineralogie der Lagerstätten“

Eine kurze Zusammenfassung dieses Teiles findet sich im folgenden Kapitel 1.2 (Seite 13). Eine ausführliche Darstellung wird an anderer Stelle erfolgen.

Teil III: „Geochemische Prospektion“

Dieser Teil wird in vorliegender Arbeit in modifizierter Form dargestellt. Er wurde im Mai 1974 abgeschlossen und die einzigen Ergänzungen bilden die am Rechenzentrum der Universität Heidelberg durchgeführten Berechnungen der verschiedenen Parameter und Korrelationsdiagramme.

Teil IV: „Erzlagerstättenkarte der Westalpen von Chur bis Gap, 1 : 500'000“

Diese als Lagerstättenarchivkarte gedachte Dokumentation enthält Erzvorkommen, unabhängig von deren ökonomischen Bedeutung. In dieser Darstellung werden keine genetischen Fragen berührt. Die Numerierung der Lagerstätten erfolgte nach einer Art Dezimalsystem: Die *Lagerstättennummer* gibt sofort Aufschluss über die tektonische Lage des Vorkommens. Die Originalunterlagen dieser auf einer tektonischen Grundlage erstellten Karte erfolgten im Masstab 1 : 200'000. Es erfolgte dann eine Reduktion auf 1 : 500'000, damit für die östliche Fortsetzung in die Ostalpen die „Erzlagerstättenkarte der Ostalpen 1 : 500'000“ von FRIEDRICH (1953) verwendet werden konnte.

In dieser Karte wurden nicht berücksichtigt:

Pegmatitvorkommen mit Beryll und seltenen Elementen (vgl. dazu HÜGI & RÖWE (1970)); Uran- und Thoriumvorkommen (vgl. dazu HÜGI et al. (1962)); Eisenerze der Doggerformation und Bohn-

1) Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung hat diese Untersuchungen in verdankenswerter Weise finanziell unterstützt.

erzvorkommen (vgl. dazu EPPRECHT (1958)); Graphitvorkommen; Kohlenvorkommen; Schwermetallseifen (vgl. dazu z.B. SCHMID (1973)).

Diese Karte wurde im Jahre 1970 fertiggestellt.

Herrn Prof. Dr. Th. Hügi danke ich bestens für seine Förderung und sein stetes Interesse an den Untersuchungen. Er verstand es bestens, die Arbeit zu leiten und mich mit lehrreichen Diskussionen und Anregungen zu fördern.

Der Schweizerischen Geotechnischen Kommission bin ich für gewährte finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet. Herrn Prof. Dr. F. de Quervain danke ich besonders für Diskussionen und für die Aufnahme der vorliegenden Arbeit in die Publikationsreihe „Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie“.

Der hier vorliegende III. Teil, Geochemische Prospektion, wäre in diesem Rahmen ohne die wohlwollende Förderung durch Herrn Direktor R. Rice, Rio Tinto Finance & Exploration Ltd., London, nicht möglich gewesen. Er anerkennen, die Analysen im Gesellschaftslabor durchführen zu lassen, wofür ich ihm zu Dank verpflichtet bin.

Herrn Prof. Dr. H. Riedwyl (Universität Bern) verdanke ich seine stete Bereitschaft zur Klärung statistischer Probleme.

Speziell danken möchte ich Herrn Dr. R. Saager, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Heidelberg. Er stellte mir freundlicherweise die von ihm erstellten Computerprogramme zur Verfügung, wodurch die Berechnungen am Rechenzentrum Heidelberg erst möglich waren. Für wertvolle Diskussionen über die Problematik der geochemischen Prospektion bin ich sehr dankbar.

Herrn Dr. F. Bianconi (Zürich) danke ich bestens für die französische Zusammenfassung.

Herrn Dipl. Min. H. Gröpper danke ich für die Durchsicht des Manuskriptes.

Für viele Diskussionen über geochemische und sonstige Fragen danke ich meinem Freund Dr. P. R. Leyshon.

Meiner lieben Frau danke ich herzlichst für ihre stetige Mithilfe, wie auch für die Ausführung photographischer Arbeiten und Korrekturen.

HEIDELBERG, im März 1975



## ZUSAMMENFASSUNG

Die Einleitung orientiert über die geographische Lage, die Geologie und Mineralogie des Gebietes der untersuchten Pb-Zn-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellauen. Diese gangförmigen Vererzungen treten im prätriassischen, anatektisch überprägten Lauterbrunnerkristallin des westlichen Aarmassivs auf. Die Gänge und die heute aufgelassenen Gruben liegen in Höhen zwischen 1360 und 2400 m über Meer. Bei den im einzelnen verschieden ausgebildeten Vererzungen handelt es sich vorwiegend um Galenit-Sphalerit- und Pyrit-führende Quarz-Barytgänge (10 – 50 cm, ausnahmsweise bis 100 cm mächtig). Weitere beobachtete Erzminerale sind: Magnetit, Chalkopyrit, Hämatit, Pyrrhotin, Tetraedrit, Covellin und Graphit. Der Galenit besitzt einen Silbergehalt von 30 – 120 ppm. Baryt enthält 1,2 – 8,2 %  $\text{SrSO}_4$ . Am Baryt lässt sich anhand der verschiedenen Gefügestrukturen die metamorphe Beeinflussung der Lagerstätten im Bereich der Grünschieferfazies der alpidischen Regionalmetamorphose verfolgen (undulöse Auslöschung, Druckzwillinge, Kataklyse, Rekristallisationsränder, Pflasterstrukturen). Weitere Gangartminerale: verquarzter Baryt, Fluorit, untergeordnet Kalzit, Dolomit, Sericit, Chlorit und Stilpnomelan. Die komplexe Lagerstättenbildung dürfte in engem Zusammenhang mit den Erscheinungsformen des herzynischen Magmatismus und seiner Folgeerscheinungen stehen. Es wurden mehrere Mineralisationsphasen für verschieden orientierte Gangspalten angenommen und im einzelnen beschrieben (herzynische, alt- bis jungalpidische Mineralisationen und metamorphe Überprägungen).

Ferner werden die Aspekte und die Problematik einer *geochemischen Prospektion* in einem alpinen Gebiet mit ausgeprägtem Relief behandelt. *Flussedimente* (358 Proben – aus kristallinem Einzugsgebiet 201, aus sedimentärem Einzugsgebiet 157 – pro 27 km<sup>2</sup>; analysiert wurde die -80 mesh-Fraktion) sind atomabsorptionsspektrophotometrisch auf Cu, Pb und Zn analysiert worden. Ba wurde nur in ausgewählten Proben bestimmt. Es ist gelungen, die bereits bekannten Vererzungen nachzuweisen, wobei überdies Anomalien festgestellt worden sind, die sich keiner bekannten Vererzung zuordnen lassen. In den Flussedimenten der Weissen Lutschine lassen sich im Bereiche der das Lauterbrunnerkristallin umhüllenden helvetischen Sedimentserie wieder erhöhte Cu-, Zn- und Ba-Gehalte nachweisen („Geochemische Barriere“). Ausserdem wurden im Grenzbereich Kristallin-autochthone Sedimente erhöhte Konzentrationen von Cu, Pb und Zn festgestellt. Die in den Flussedimenten der Weissen Lutschine (inkl. Zuflüsse) gefundenen Zentral- (Z) und Schwellenwerte (t) sowie die Korrelationskoeffizienten (r) für die Einzugsgebiete verschiedener geologischer Einheiten enthält die Tabelle 1.

Im hinteren Lauterbrunnen- und im vorderen Sefinental sind *Bodenproben* (insgesamt 577, wovon 307 „track soil samples“ und 270 Proben in Detailprofilen über eine Gesamtlänge von 1935 m) auf Cu, Pb und Zn untersucht worden. Die bereits bekannten Vererzungen konnten nachgewiesen werden. Die statistischen Parameter finden sich in den Tabellen 2 und 3.

Die Gebiete anomaler Metallkonzentrationen in den Flussedimenten und Böden sind kartenmässig dargestellt (Fig. 36, Tabelle 4).

Nach den gemachten Erfahrungen erweisen sich, bei den gegebenen topographischen, hydrographischen und tektonischen Verhältnissen des untersuchten Gebietes, *Flussedimente* als geeignet für eine *regionale Übersichtsprospektion* (Probendichte: 1,5 pro km<sup>2</sup>). Das Cu zeigt anomale Werte bis in die 4., Pb nur bis in die 2. und Zn knapp bis in die 5. Flussordnung. Für eine *lokale Übersichtsprospektion* eignen sich *Bodenproben* („track soil sampling“; Probenabstand nicht grösser als 100 m).

Für *Detailuntersuchungen* sind auch unter diesen Verhältnissen *Bodenprofile* geeignet (Probenabstand nicht mehr als 10 m). Einzeldaten der geochemischen Prospektion sind in Karten, Histogrammen und Tabellen (Zentral- und Schwellenwerte, Korrelationskoeffizienten, kumulative Häufigkeitskurven von Cu, Pb und Zn für jede lithologische Einheit) dargestellt.

Bei der Interpretation der Resultate ist auf das eventuelle Vorhandensein von geochemischen Barrieren, resp. Verdünnungen, zu achten.



## ABSTRACT

Details are presented on the geographic position, the geology and the mineralogy of the Pb–Zn–Ba–deposits near Trachsellaue. The mineralization occurs in veins in the Pretriassic, migmatitic Lauterbrunner Crystalline basement of the Western Aarmassif. The abandoned mines and outcrops occur at altitudes between 1360 and 2400 m. The mineralization consists mainly of galena (with a silver content from 30 to 120 ppm), sphalerite and pyrite in quartz–barite veins of 10 – 50 cm thickness, and also, as an exception, 100 cm. The other ore minerals are magnetite, chalcopyrite, hematite, pyrrhotite, tetrahedrite, covellite, graphite. The barite's  $\text{SrSO}_4$ -content varies from 1,2 – 8,2 %. The textures of barite (e.g. undulating extinction, pressure twinning, cataclastic features, recrystallisation rims, very fine polygonal grains forming a mosaic) were used to show the influence of the alpine regional metamorphism upon the deposits. They are found in the transition zone between the pumpellyite–prehnite and the greenschist facies. Additional gangue minerals are: silicified barite, fluorite and less frequently calcite, dolomite, sericite, chlorite and stilpnomelane. The complex ore forming processes seem to be closely related with the hercynian magmatic phase. Veining is assumed to be a product of an hercynian mineralization and an alpidic mineralization. The veins have been affected by the alpine metamorphism.

The problems of a *geochemical exploration survey* in an Alpine area are discussed. *Stream sediments* (358 samples – 201 from the crystalline drainage area, 157 from the sedimentary area – over some 27 km<sup>2</sup>) were analyzed (–80-mesh fraction) for Cu, Pb and Zn by atomic absorption spectrometry. Selected samples were investigated for Ba. The data are grouped according to the lithology of the drainage basins. The known ore deposits showed distinct anomalies. Several anomalies, not yet related to known ore deposits, require further investigations. Especially two types of anomalies, geochemical barriers, cannot be coordinated directly to known ore deposits. – 1) The anomalies attached to the Helvetic Dogger sediments in the lower part of the valley of Lauterbrunnen. These anomalies could probably be related to a stratabound pyrite–sphalerite mineralization in the Middle Dogger (Bajocien). – 2) The anomalies along the boundary crystalline basement – autochthonous sediments. A possible source for these anomalous metal concentrations may be found in the Triassic sequence. The Triassic system (Germanic facies) is well known for its mineralization.

Median (Z), threshold (t) and correlation coefficients (r) are shown in table 1.

A *pedogeochemical survey* was carried out at the same time in the upper Lauterbrunnen and the lower Sefinen valley. 577 soil samples, of which 307 „track soil samples” and 270 from profiles (over a total length of 1935 m) were analyzed for Cu, Pb and Zn. The known ore deposits showed clear anomalies. The statistic parameters are given in tables 2 and 3.

A map of the areas of anomalous metal concentrations in stream sediments and soils is given (fig. 36, table 4).

For a *reconnaissance survey* a sample density of 1.5 *stream sediment* samples/km<sup>2</sup> is sufficient for the extreme relief of the area. Zn showed in stream sediments anomalous values down to the 5th stream order, Cu to the 4th and Pb only to the 2nd order. Optimal results for a *local follow-up survey* were obtained by *track soil geochemistry*. The results indicated that samples should be taken at least every 100 m. *Soil profiles* (with sample spacing not more than 10 m) are very useful in this mountainous area for locating the extension of veins.

The recognition of geochemical barriers, respectively dilutions, is most important and a necessity for an accurate interpretation of geochemical results in an area with such a complex structure.

Details of the geochemical exploration are presented in maps, histograms and tables (cumulative frequency curves for Cu, Pb and Zn for each lithological unit were plotted on probability paper; median, threshold and correlation coefficients).

## RÉSUMÉ

La position géographique, la géologie et la minéralogie des gisements de plomb, zinc et barytine de la région de Trachsellaenen (Ct. Berne) sont présentées dans l'introduction. Les minéralisations filoniennes coupent les roches prétriasiques anatectiques du cristallin de Lauterbrunnen dans la partie occidentale du Massif de l'Aar. Les filons et les mines abandonnées se trouvent entre 1360 et 2400 m d'altitude. Il s'agit principalement de filons à quartz, barytine, galène, sphalérite et pyrite, qui ont une puissance de 10 à 50 cm, exceptionnellement de 100 cm. Magnétite, chalcoppyrite, hématite, pyrrhotite, fahlerz (tétraédrite), covellite et graphite ont aussi été observées. La galène contient de 30 à 120 ppm d'argent; la barytine de 1,2 à 8,2 % de  $\text{SrSO}_4$ . Les caractéristiques de la barytine, telles extinction ondulée, gémisés de pression, cataclase, bords recristallisés, structure à mosaïc, documentent les influences de la métamorphose régionale alpine, à faciès des schistes verts, sur les gisements métallifères. La gangue contient en outre de la barytine silicifiée, de la fluorine et accessoirement de la calcite, de la dolomite, de la séricite, de la chlorite et du stilpnomélane. La genèse complexe des gisements est mise en relation avec le magmatisme hercynien et ses suites. On a postulé et décrit plusieurs phases de minéralisation (hercynienne, alpine, remaniement métamorphique) pour les filons minéralisés ayant différentes orientations.

Les problèmes de la *prospection géochimique* dans un terrain alpin à fort relief sont discutés. 358 échantillons de *sédiments fluviaux* (201 de terrains cristallins et 157 de terrains sédimentaires) ont été pris sur une surface de 27 km<sup>2</sup>. Les teneurs de Cu, Pb et Zn ont été déterminées sur la fraction fine (-80 mailles) par spectrométrie d'absorption atomique. Le Ba a été titré uniquement sur des échantillons choisis. Par ce moyen on a pu détecter les minéralisations connues et des anomalies supplémentaires qui ne peuvent pas être expliquées par des gisements connus. Dans les sédiments du torrent Weisse Lütschine les teneurs anormales de Cu, Pb et Zn reflètent la fonction de barrière géochimique des sédiments Helvétiques qui couvrent le cristallin de Lauterbrunnen. Au contact cristallin — sédiments autochtones on note aussi des teneurs anormales de Cu, Pb et Zn. Le tabl. 1 contient les teneurs de fond (Z), le seuil de teneurs anormales (t) et les coefficients de corrélation (r) des différentes formations géologiques d'où proviennent les sédiments de la Weisse Lütschine.

Les teneurs de Cu, Pb et Zn ont été déterminées sur 577 échantillons de *sols* (307 échantillons de reconnaissance et 270 échantillons sur profils de détails pour une longueur totale de 1935 m.

Les zones à concentrations anormales des métaux dans les sédiments fluviaux et les sols sont représentées cartographiquement (Fig. 36, tabl. 4).

D'après les résultats obtenus dans le cadre topographique, hydrographique et tectonique étudié on conclut que l'échantillonnage de *sédiments fluviaux* avec une densité de 1,5 échantillons par km<sup>2</sup> est suffisant pour une *prospection stratégique*. Le zinc maintient des valeurs anormales jusqu'au 5<sup>me</sup> ordre de ruisseaux, le cuivre jusqu'au 4<sup>me</sup> ordre et le plomb seulement jusqu'au 2<sup>me</sup> ordre. L'échantillonnage des *sols*, avec un espace maximum de 100 m, est efficace dans une *prospection tactique*.

Les valeurs géochimiques (teneur de fond, seuil significatif d'anomalies, coefficient de corrélation, courbe de la distribution cumulative de Cu, Pb et Zn pour chaque unité lithologique) sont représentées dans des cartes, sous forme de tableaux et histogrammes.

L'interprétation des résultats doit tenir compte de la présence éventuelle de barrières ou de dilutions géochimiques.

# 1 Einleitung

## 1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE

Das untersuchte Gebiet befindet sich im hinteren Lauterbrunnental im Berner Oberland (No. 1 in Fig. 1). Als „hinteres Lauterbrunnental“ (oft auch als oberes Lauterbrunnental bezeichnet) wird im allgemeinen der südlich von Stechelberg gelegene Talabschluss des Lauterbrunnentales bezeichnet. Dieser ist begrenzt durch die Gipfel Ebnefluh – Mittaghorn – Grosshorn – Breithorn – Lauterbrunner Wetterhorn – Ellstabhorn – Spitzhorn. Die Entwässerung dieses Tales erfolgt durch die Weisse Lütschine gegen Norden.

Der Zugang erfolgt über Interlaken (567 m.ü.Meer), das den Anschluss an das Netz der Schweizerischen Bundesbahnen gibt. Interlaken ist mit einer Schmalspurbahn mit Lauterbrunnen (800 m.ü. Meer) verbunden. Von hier aus besteht nach dem südlich davon gelegenen Stechelberg eine Postautoverbindung auf einer ganzjährig befahrbaren Strasse. Von Stechelberg (910 m.ü.Meer) gelangt man nach einem dreiviertel-stündigen Marsch auf einem gut ausgebauten Weg nach Trachsellaunen (1203 m.ü.Meer), welches den Ausgangspunkt zum Besuche der verschiedenen Erzvorkommen bildet.

Die ausgedehnten Stollenanlagen des Reviers *Gnadensonne – Gute Hoffnung* befinden sich unmittelbar westlich ob Trachsellaunen auf 1360 m, resp. 1600 m Höhe. Das Revier *Breitlaunen* liegt 2 km südlich von Trachsellaunen zwischen 1680 m und 2400 m Höhe.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf Blatt JUNGFRAU der Landeskarte der Schweiz 1:50'000 (LK No. 264). Die in der Übersichtsprospektion erfolgten Untersuchungen zwischen Stechelberg und Wilderswil befinden sich auf dem nördlich anschliessenden Blatt INTERLAKEN (LK No. 254). Das hintere Lauterbrunnental ist auch auf dem soeben erschienenen Blatt MÜRREN (LK No. 1248) 1 : 25'000 enthalten.

## 1.2 GEOLOGIE UND MINERALOGIE DER LAGERSTÄTTEN

### 1.2.1 LAGE

Das Aarmassiv bildet das nördlichste der allgemein als autochthon angesehenen Kristallinmassive in der Externzone des Westalpenbogens. Es zeigt einerseits Ähnlichkeiten mit dessen übrigen Massiven, wie Aiguilles-Rouges-, Mont Blanc-, Belledonne-, Grandes-Rousses- und Pelvoux Massiv, anderseits solche mit den Vorland Massiven, wie Massif Central, Vogesen und Schwarzwald.



Die allgemeine Situation der Lagerstätten bei Trachsellaunen im Bauplan des Aarmassivs ist in Figur 1 dargestellt.

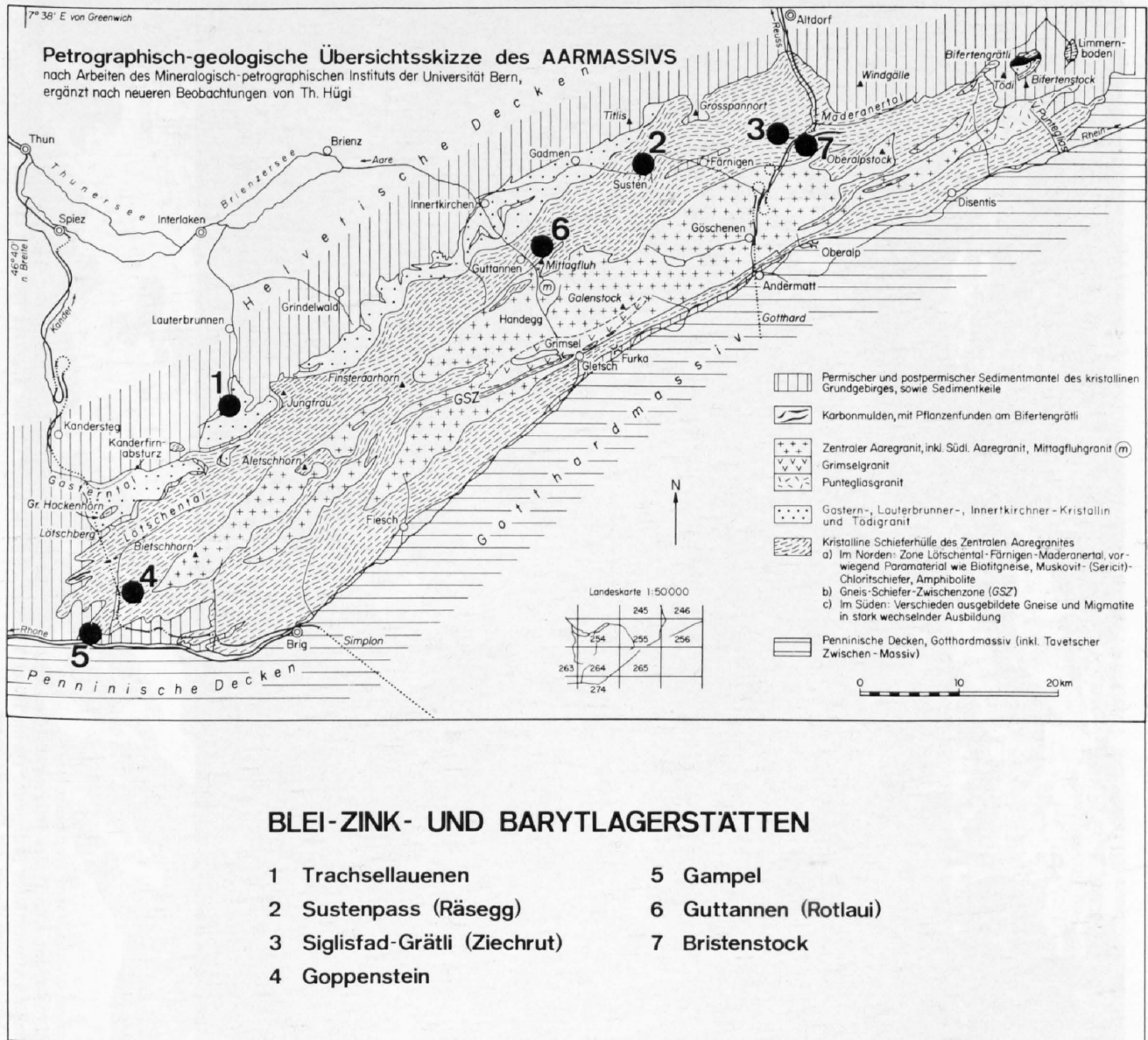


Fig. 1

Das hintere Lauterbrunnental zeigt über einem vollständig aus prätriassischem Lauterbrunner Kristallin bestehenden Talgrund auf der westlichen Talseite die Abfolge der autochthonen und der parautochthonen Sedimente (Fig. 2). Im Gegensatz dazu ist die Situation auf der östlichen Talseite durch das Auftreten des Jungfrau-keiles s.l. komplexer (Fig. 3).

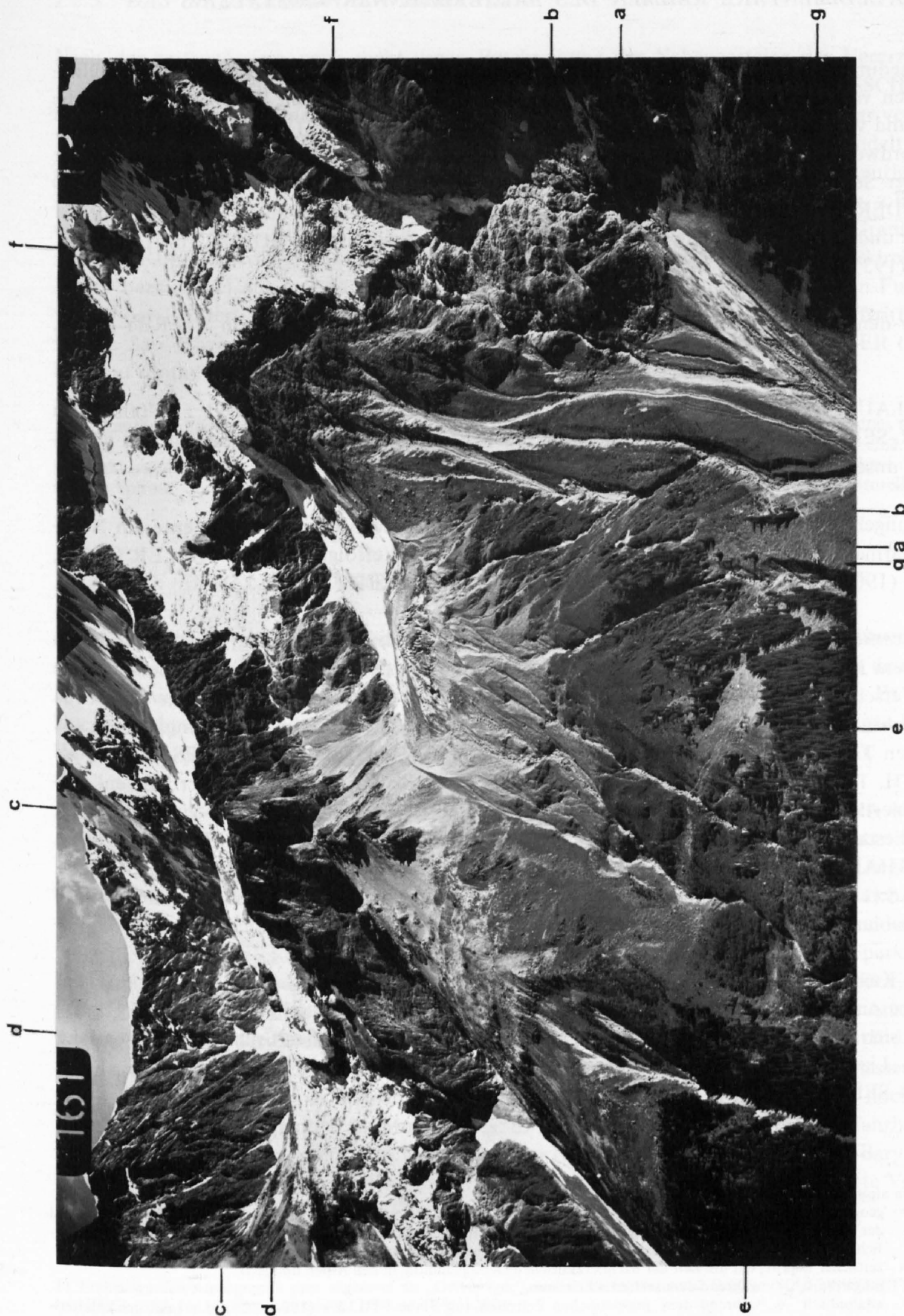
Eine Übersicht über die weitere Umgebung geben die geologischen Karten und Profile von KREBS (1925) und COLLET & PAREJAS (1928, 1931).



Aufnahme Eidg. Landestopographie

Fig. 2  
Ansicht des westlichen Talhanges oberhalb von Trachsellauenen  
a-a: Stollenmundloch des Erbstollens (A.11) des Bergwerkes Gnadensonne; b-b: Stollenmundloch des Bergwerkes Gute Hoffnung; c-c: Schluchtgraben; d-d:  
Grenze Lauterbrunner Kristallin&Autochthone Sedimente (beim Hotel Tschingelhorn ist diese Grenze ungefähr identisch mit der Waldgrenze); e-e: Stagenhütte;  
f-f: Ober Ammert; g-g: Hotel Tschingelhorn auf Obersteinberg





Aufnahme Eidg. Landestopographie

Fig. 3

Ansicht des östlichen Talhanges im Bereich von Breitlauenen  
a-a: Stollenmundloch der Grube Beschertes Glück; b-b: Rote Fluh (hell und im Schatten: Autochthone Sedimente;  
dunkel, rechts von der Roten Fluh: Lauterbrunner Kristallin); d-d: Rottal; e-e: Hubel; f-f: Mittlerer Breitlauengletscher; g-g: Obere Schwand.

### 1.2.2 DER SEDIMENTÄRE RAHMEN DES LAUTERBRUNNER KRISTALLINS

Über den sedimentären Anteil im hinteren Lauterbrunnental sind wir orientiert durch die detaillierten Arbeiten von GERBER (1907, 1909, 1915), BRUDERER (1924) und KREBS (1925) für die westliche und von COLLET & PAREJAS (1931) und NEIDINGER (1951) für die östliche Talseite. Für den nordwestlichen Teil unserer Übersichtskarte (vgl. dazu z.B. Fig. 5, Seite 30), d.h. das Gebiet nördlich der Sefinen Lütschine, sei auf die Arbeiten von HELGERS (1905), STAUFFER (1921) und STÄNDER (1943) hingewiesen. Die weiter nördlich davon anschliessenden Gegenden, auf der westlichen und östlichen Talseite des Lauterbrunnentales, bearbeiteten GOLDSCHMID (1926), LIECHTI (1931), LOUIS (1924) und ROTHENBACH (1875).

Daten über den Dogger finden sich in TRÖHLER (1966) und über den Keuper in M. FREY (1968, 1969).

Das Blatt LAUTERBRUNNEN (No. 395) des „Geologischen Atlas der Schweiz 1 : 25'000“ von GÜNZLER-SEIFFERT (1933) reicht nur bis in die Gegend von Mürren, also knapp in den nördlichen Rand unserer Karte.

Untersuchungen über die vorwiegend aus Kalken bestehenden autochthonen Sedimente am Nordrand des Aarmassivs zwischen Grindelwald und dem Sustenpass erfolgten durch MÜLLER (1938), PAULCKE (1906), ROHR (1926), SCABELL (1926) und TOBLER (1897).

Der *nordwestliche Rand des Aarmassivs* ist charakterisiert durch eine intensive Verschuppung von sedimentärem Material (Trias bis Tertiär) mit prätriassischem Kristallin. Das Resultat dieser alpidischen <sup>1)</sup> Verschuppungen zeigt sich uns heute in den klassisch gewordenen *Keilbildungen* zwischen dem Lauterbrunnen- und dem Meiental. Besonders schöne Beispiele sind u.a. der Jungfraukeyl auf der östlichen Talseite im hinteren Lauterbrunnental (Fig. 3) (F.J. HUGI, 1830; A. ESCHER VON DER LINTH, 1839; BALTZER, 1880, 1885; VON FELLENNBERG, 1881, 1893), der Pfaffenkopfkeyl bei Innertkirchen (MÜLLER, 1938) und der Fernigenkeyl im Meiental (ALB. & ARN. HEIM, 1916). In diesem Zusammenhang sei auch auf die Arbeiten von BUXTORF & TRUNINGER (1909), MORGENTHALER (1921), ALB. HEIM (1921), ROHR (1926), SCABELL (1926) und COLLET & PAREJAS (1931) hingewiesen. In neuerer Zeit hat sich besonders LABHART (1965, 1966, 1968) mit den Problemen der Keilbildung beschäftigt.

Neben der Keilbildung findet sich als weiteres Element eine charakteristische *Bruchbildung*. Dies zeigt sich besonders schön auf der westlichen Talseite in Form des Schluchgrabenbruches (Fig. 2). Es handelt sich hier um einen WNW-streichenden, steil nach SW-fallenden Bruch, der während der Trias- und Liaszeit aktiv war (vgl. dazu GERBER, 1907; BRUDERER, 1924; KREBS, 1925; GÜNZLER-SEIFFERT, 1941 a, b, 1944, 1945, 1946, 1952; BAER, 1959).

1) Die Begriffe alpin und alpidisch werden hier wie folgt verwendet:

- alpin = geographischer Begriff (im Sinne von E. NIGGLI & C. NIGGLI (1965), METZ (1967; 218). Damit wird das Areal der Alpen im weiteren Sinne bezeichnet. So ist dann z.B. eine „alpine Erzlagerstätte“ eine sich in den Alpen befindliche Erzlagerstätte, deren Alter alpidisch, herzynisch oder auch älter sein kann.
- alpidisch = zeitlicher Begriff, der die Zeit der nachherzynischen Gebirgsbildung in den Alpen umfasst:
  - jungalpidisch = während dem tertiären Zeitraum
  - altalpidisch = während dem mesozoischen Zeitraum (im Sinne STILLE's (1924; 208), d.h. inkl. der kimmerischen Faltungsphase)

Vgl. dazu auch JÄGER (1973), LABHART (1965, 1966), METZ (1967; 218), E. NIGGLI & C. NIGGLI (1965) und STECK (1968).

### 1.2.3 DAS LAUTERBRUNNER KRISTALLIN

Nach der zeitgenössisch noch recht vagen Beschreibung der Nebengesteine der Vererzungen von Trachsellaunen durch GRUNER (1760, I:113) als Geisbergerstein <sup>1)</sup> bringt H. C. ESCHER (1807) in der Einleitung zu seinem Schlussbericht über den Bergbau eine heute noch klar verständliche Darstellung der petrographischen Verhältnisse. Bei dieser Darstellung ESCHER's handelt es sich um den gut gelungenen Versuch, eine Gesteinsassoziation zu beschreiben, die wir nach heutiger Nomenklatur als Migmatite s. l. bezeichnen (SØRENSEN, edit., 1961). Spätere Bearbeiter, z.B. E. HUGI (1915), NEIDINGER (1951), sahen im Lauterbrunner Kristallin einen „echten Granit“ (Orthogneis). KRUMMENACHER (1959) stellte fest, dass die Zone Lauterbrunnen-Innertkirchen (wie in Fig. 1 bezeichnet) aus granodioritischen Nebuliten besteht und mit derjenigen von Fully (Unterwallis) parallelisiert werden kann. Für diese Zone, die auch im Pelvoux-Massiv auftritt („série de Rif du Sap“), wird die Bezeichnung „série à pinite“ vorgeschlagen. RUTISHAUSER (1972;252) kam auf Grund seiner Beobachtungen zu folgender Modellvorstellung:

„Das Lauterbrunner Kristallin ist ein in situ und durch ausgeprägte selektive Anatexis entstandenes migmatisches Gestein prätriasischen Alters. Das Ausgangsmaterial für das Paläosom wie für das Neosom ist eine ursprünglich geosynklinale Sedimentserie, die vor der tiefgreifenden anatektischen Umprägung mindestens eine Phase der Regionalmetamorphose durchlaufen hat. Posttriasisch wurde das Lauterbrunner-Kristallin nur noch ruptuell überprägt“.

### 1.2.4 DIE EINZELNEN ERZFUNDSTELLEN

Die Vererzungen treten vorwiegend als geringmächtige (10 bis 50 cm, ausnahmsweise 100 cm mächtige) Galenit, Sphalerit und Pyrit führende *Quarz-Barytgänge* auf und sind nach den bisherigen Untersuchungen in ihrer Verbreitung auf das Lauterbrunner Kristallin beschränkt. Es lassen sich zwei Abbaureviere (A und B <sup>2)</sup>) unterscheiden. Mit C bis H wurden weitere Vererzungen bezeichnet, die jedoch von untergeordneter Natur sind (geringmächtige Gängchen, Ruschelzonen).

Das *Abbaurevier Gnadensonne-Gute Hoffnung* (Gebiet A) umfasst die bergbaulichen Arbeiten auf der westlichen Talseite (Fig. 2). Der Erbstollen des Werkes *Gnadensonne* (Koordinaten des Stollenmundloches: 635'305/152'665/1364 m Höhe) ist heute noch in seiner ganzen Länge von rund 300 m befahrbar. Damit bildet dieses Bergwerk meines Wissens die grösste, heute noch befahrbare Bergwerksanlage der Schweiz, welche vor dem 18. Jahrhundert in Betrieb war und seither nicht mehr bebaut wurde. Ich denke da z.B. an die mir bekannten Lagerstätten Gnapperkopf, Siglisfadgrätli, Gampel, Aleses und Cocorier, aber auch an die Vorkommen am Bristenstock, die JENNI (1969;1972) kürzlich untersuchte. Alle diese Anlagen besitzen bedeutend kleinere Ausmasse. Der Abbau erfolgte in der Gnadensonne streichend auf 5 Stollenniveaus (der Sohlenabstand beträgt ca. 15 m), wobei der Erbstollen das tiefste, 5. Niveau darstellt. Von diesem Werk aus lassen sich Vererzungspunkte hangaufwärts bis zum Werk *Gute Hoffnung* verfolgen. Dieses ist nur noch in seinem tiefsten Stollen (Koordinaten des Mundloches: 635'103/152'940/1580 m Höhe) befahrbar, welcher rund 50 m tief ins Feld vorgetrieben wurde. Auf der Höhe der Gnadensonne sind die Barytgänge z.T. intensiv verquarzt, auf der Höhe der Guten Hoffnung tritt nur eine sehr untergeordnete Verquarzung auf.

1) Früher wurden Alpengranite ganz allgemein als „Geissberger“, weisser harter Stein oder Gebirge (SCHEUCHZER 1723) bezeichnet (HÜGI 1960. In: Lex. Strat. Int. Fasc. 7/Suisse, II, p. 1262).

2) Diese Bezeichnungen, A bis H, finden sich auf allen Karten, welche die Resultate der geochemischen Untersuchungen der Flusssedimente und Böden zeigen (z.B. Fig. 9 - 12).



Das Abbaurevier Breitlauenen (Gebiet B) umfasst die Grubenanlagen *Beschertes Glück* und *Segenszuwachs*, wie auch die in ihrer Umgebung aufgeschlossenen Erzgänge, auf der östlichen Talseite (Fig. 3). Wie wir aus dem geschichtlichen Teil wissen <sup>1)</sup>, wurden diese Stollenanlagen im 17. Jahrhundert zur Zeit der „Oberländischen Bergwerke“ begonnen und dann im 18. Jahrhundert weitergeführt. Am Ende des 18. Jahrhunderts, zur Zeit der Hauptphase der bergbaulichen Tätigkeit, wurde das ganze Gebiet unter dem Namen „Frisch Glück Zeche“ bearbeitet. Die Anlage *Beschertes Glück* (Koordinaten des Stollenmundloches: 636'210/151'610/1896 m Höhe) ist nur noch in einem 20 m langen Stollen befahrbar, der streichend in den Gängen aufgefahren wurde. Die Grube *Segenszuwachs* umfasst einen 10 m langen Stollen (Koordinaten des Mundloches: 636'385/151'490/1990 m Höhe und einen heute versoffenen Schacht (Koordinaten: 636'390/151'465/1990 m Höhe). Beide wurden in einem bis 80 cm mächtigen, boudinierten Barytgang aufgefahren. Die in der Umgebung aufgeschlossenen Gänge bestehen grösstenteils aus Baryt. Hangaufwärts lassen sich die Vererzungen in südöstlicher Richtung bis unterhalb des mittleren Breitlauenenengletschers (Koordinaten des Punktes „F“: 636'760/150'850/2430 m Höhe) verfolgen.

Es können in den Abbaugebieten A und B zwei Gangsysteme erkannt werden, ältere NNW- und jüngere WNW-NW-streichende Barytgänge, die beide durch die jungalpidischen Schieferungssysteme überprägt wurden.

#### 1.2.5 DER MINERALINHALT DER LAGERSTÄTTEN <sup>2)</sup>

Beobachtete *Erzminerale*: Sphalerit, Galenit (mit Silbergehalten von 30 bis 120 ppm), Pyrit (oft anomal anisotrop); daneben untergeordnet: Magnetit, Chalkopyrit, Hämatit, Pyrrhotin, Tetraedrit, Covellin und Graphit.

*Gangartminerale*: Quarz, verquarzte Baryte, Baryt, Fluorit; daneben untergeordnet: Kalzit, Dolomit, Sericit, Chlorit und Stilpnomelan.

*Diese Pb-Zn-Barytlagerstätten zeigen alle Merkmale einer metamorphen Überprägung.* Als hier besonders verbreitete Kriterien der metamorphen Beeinflussung seien hervorgehoben: Sehr schön entwickelte Porphyroblasten von Pyrit und Magnetit; feinstkörnig rekristallisierter, makroskopisch hellbrauner, derber Sphalerit; Magnetiteinschlüsse im Sphalerit; Bildung von Hämatit, wie auch von Stilpnomelan, Chlorit und Sericit; die Baryte zeigen vorwiegend Druckzwillingslamellenbildung und alle Stadien der mechanischen Beanspruchung.

*Die Verteilung des Sr in den Baryten zeigt bei den Vorkommen von Trachsellaunen zwei ausgesprochene Häufigkeitsmaxima:* I. Gruppe: um 2,5 % SrSO<sub>4</sub> (Streubereich 1,2 – 4,2 % SrSO<sub>4</sub>); II. Gruppe: um 6,5 % SrSO<sub>4</sub> (Streubereich 4,4 – 8,2 % SrSO<sub>4</sub>). Diese können den älteren, resp. den jüngeren Gängen zugeordnet werden. Baryte aus dem übrigen Aarmassiv (Sustenpass, Goppenstein, Gampel und Siglisfadgrätli), den Vogesen und dem nordöstlichen Massif Central zeigen SrSO<sub>4</sub>-

1) SAHEURS (1974: 7 – 170)

2) Für Einzelheiten siehe SAHEURS (1974, Teil II, Geologie und Mineralogie der Lagerstätten: 171 – 396).

Gehalte, die der I. Gruppe entsprechen.  $\text{SrSO}_4$ -Werte der Baryte von St. Luc und Siviez entsprechen einer Übergangsverteilung. Die  $\text{SrSO}_4$ -Gehalte der Baryte aus Lagerstätten in den übrigen Externmassiven zeigen einen Trend zur II. Gruppe.

Die Untersuchung der *metamorphen Beeinflussung der Baryte* im Bereich der Grünschieferfazies der alpidischen Regionalmetamorphose zeigte, dass mit Hilfe von ausseralpinen (z.B. Monternier im Massif Central) und alpidisch (z.B. Goppenstein) stärker überprägten Vorkommen eine sich konform zur zunehmenden metamorphen Überprägung ändernde Gefügestruktur festgestellt werden kann. Diese Gefügestrukturen äussern sich als undulöses Auslöschen, Bildung von Druckzwillingslamellen, alle Erscheinungen der Kataklyse, Rekristallisationsränder und fein- und grobkörnige Pflasterstrukturen.

### 1.2.6 GENETISCHE BETRACHTUNGEN

Unsere bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Lagerstätten bei Trachsellauenen im Rahmen der Metallisation des westlichen Aarmassivs betrachtet werden müssen. Die heutigen Kenntnisse erlauben uns, für die Metallisationen im westlichen Aarmassiv erst eine vorläufige Arbeitshypothese aufzustellen <sup>1)</sup>. Der Ablauf der Lagerstättenbildung könnte folgendermassen dargestellt werden:

#### I Herzynische Mineralisation

Der Metallotekt steht in einem engen Zusammenhang mit den Erscheinungsformen des herzynischen Magmatismus, seiner Metamorphose und seiner Tektonik <sup>2)</sup>.

Es ist vorstellbar, dass in der hydrothermalen Endphase der Bildung des Zentralen Aaregranites eine Mineralisation, in zonaler Abfolge in ein NNW-, resp. ENE-gerichtetes Gangspaltensystem erfolgte. Die zonale Anordnung der Vererzungen „um den zentralen Aaregranit“ ergibt sich als <sup>3)</sup>:

- 1) *Molybdänitvererzungen*: z.T. im, z.T. randlich der Granite des SW-Aarmassivs vorkommend (STECK, 1966 a, b; STECK & HÜGI, 1970).
- 2) *Uranvererzungen*: Bis jetzt nur aus dem Südrand des Aarmassivs bekannt (LABHART, 1967; vgl. dazu auch KRAMERS, 1973).
- 3) *Quarzig-kiesige Bleiformation*: z.B. Bristenstock (JENNI, 1972).
- 4) *Fluorbarytische Bleiformation*: z.B. Goppenstein (Schönbühl) (HUTTENLOCHER, 1931 & 1934; SAHEURS, 1974).
- 5) *Barytgänge* mit Fluorit und untergeordnet Sphalerit und Galenit (SAHEURS, 1966, 1974).
- 6) (?) *Erzfreie Formation*: Diese wird gebildet durch eine Zone von Fluoritvorkommen in den helvetischen Sedimenten der Randzone des Massives (VON FELLEBERG, 1887 & 1891). Diese könnten als eine alpidische Regeneration von Fluoritgängen, aus dem kristallinen Untergrund, aufgefasst werden.

#### II Altalpidische Mineralisation

Dieser Metallotekt wäre an eine altalpidische Tektonik und Metamorphose (Magmatismus?) gebunden. <sup>4)</sup>

- 1) Die laufenden Untersuchungen an den Lagerstätten Sustenpass, Siglisfadgrätli, Guttannen, Goppenstein, Krinnenlücke und Gampel sind noch nicht abgeschlossen.
- 2) Im Sinne von LAFFITTE (1966, 55)
- 3) In diesem Zusammenhang sei noch festgestellt, dass, mit Ausnahme der Molybdänitvorkommen, die Verteilung der Vererzungen mehr oder weniger parallel den Zonen der alpidischen Regionalmetamorphose (E. NIGGLI & C.R. NIGGLI, 1965; E. NIGGLI 1973) verläuft.
- 4) Nur z.T. im Sinne von LAFFITTE (1966, 55).

Eine intensive Bruchbildung (vermutlich Trias-Lias) führt zur Bildung eines Gangspaltensystems. Dieses wird in der Folge (vermutlich kretazisch-präjungalpidisch) mineralisiert. Diese relativ jüngeren Mineralisationen sind u.a. besonders an WNW-NW-gerichtete Störungszonen gebunden. In den alpinen Externmassiven findet sich diese Mineralisation besonders an deren Aussenrändern.

Die *alpidische Regionalmetamorphose* überprägt im Aarmassiv die bestehenden Vererzungen. Die Vorkommen bei Trachsellauenen werden von ihr noch deutlich, im Vergleich mit den übrigen Vorkommen, wie Goppenstein und Sustenpass, aber am schwächsten metamorph überprägt.

### III Jungalpidische Mineralisation

Diese im Zusammenhang mit der jungalpidischen Tektonik auftretende Mineralisation scheint sich auf untergeordnete Imprägnationen und eine ausgedehnte Kluftmineralisation zu beschränken.

## 1.3. GEOCHEMISCHE PROSPEKTION

### 1.3.1 ALLGEMEINES

Für das erste Stadium einer Mineralprospektion (engl.: „reconnaissance“; franz.: „prospection stratégique“) auf Blei-Zink-Lagerstätten eignet sich besonders die geochemische Prospektionsmethodik. Dazu werden beispielsweise systematisch Proben von Flusssedimenten und Böden auf Gehalte an interessierenden Metallen untersucht. Die dadurch erhaltenen Gebiete anomaler Metallkonzentrationen sind dann auf ihre Bedeutung hin zu untersuchen, d.h. es ist von Fall zu Fall abzuklären, ob ein Zusammenhang mit einem Erzvorkommen besteht oder ob der erhöhte Metallgehalt auf andere Einflüsse (z.B. Umweltverschmutzung!) zurückzuführen ist. Weiteres zum Begriff „geochemische Anomalie“ siehe unten (1. 3. 4). In vielen Fällen ist es möglich, als Ursprung einer Anomalie die Metall-aureole (sekundärer Dispersionshof) um ein Erzvorkommen anzunehmen. Im Gegensatz zu den primären Dispersionshöfen, die bei der Lagerstättenbildung entstanden und lokal beschränkt sind, zeigen die *sekundären Dispersionshöfe* eine grössere regionale Ausdehnung. Die letzteren sind auf den verwitterten Teil der Erdkruste beschränkt und werden oft auch als Dispersionshöfe s.str. bezeichnet. Für die Prospektion ist die Grösse des sekundären Dispersionshofes von entscheidender Bedeutung, da dadurch die benötigte Probenanzahl festgelegt wird. Von grösster Bedeutung sind hier besonders die im Verhältnis zu den Nebengesteinen epigenetischen Dispersionshöfe (GINSBURG, 1963;156): Mechanische Dispersionshöfe (z.B. in Flusssedimenten) und mineralorganische Höfe (z.B. Bodenhöfe). Diese Dispersionshöfe werden aus Material aus der Lagerstätte selbst und aus dem primären Dispersionshof gebildet. Über die verschiedenen Faktoren, die zur Bildung der Dispersionshöfe führen vgl. z.B. HAWKES & WEBB (1962), GINSBURG (1963), PERELMAN (1972) oder LEVINSON (1974).

Geophysikalische Methoden sind bei der Suche von Nichteisenmetallen, beispielsweise im mitteleuropäischen Raum, aus zeitlichen, wie auch insbesondere aus finanziellen Gründen in diesem Stadium der Untersuchungen nicht empfehlenswert. Sie müssen unbedingt auf die späteren Detailuntersuchungen (engl.: „follow up“; franz.: „prospection tactique“) beschränkt werden.

Über die Grundlagen und die Methodik der *Geochemischen Prospektion* orientieren die folgenden Standardwerke wie BENTZ (1961), BOYLE (1971), BROOKS (1972), CANNEY (1969), GINSBURG (1963), GRANIER (1973), HAWKES & WEBB (1962), JONES, edit. (1973 a, b), KREITER (1968), KVALHEIM, edit. (1967), LEVINSON (1974), MALYUGA (1964) und ZESCHKE (1964, 1970).



Geochemische Prospektionsmethoden, mittels Flussedimenten und Bodenproben, wurden bisher in den Schweizer Alpen noch sehr wenig eingesetzt. Die bis heute publizierten Arbeiten befassen sich vor allem mit der unmittelbaren Umgebung bekannter Erzvorkommen im Wallis und in Uri:

LOUP & WOODTLI (1965 a): Untersucht wurden rund 12 km<sup>2</sup> in der Umgebung der Pb-Zn-Vorkommen von Alesse im Unterwallis. 180 *Bodenproben* wurden auf Blei und 321 auf Zink untersucht. Damit konnten 13 Gebiete mit anomalen Metallkonzentrationen aufgefunden werden; die bekannten Vererzungen wurden geochemisch auch lokalisiert. Der Schwellenwert für Blei beträgt 50 ppm, derjenige für Zink 175 ppm.

LOUP & WOODTLI (1965 b): Über dem Pb-Vorkommen von Cocorier im Unterwallis und Bruson im Val de Bagnes wurden *Bodenproben* entnommen und analysiert für Cu, Pb und Zn. Die Analysen erfolgten nach der Dithizonmethode. In Cocorier konnte festgestellt werden, dass, trotz der Steilheit des Geländes, die geochemische Anomalie keine starke Deformation durch Solifluktion erlitt. Die Schwellenwerte für die Umgebung von Bruson sind: Cu 50 ppm, Pb 170 ppm und Zn 233 ppm. Die Blei- und Zinkanomalien erstrecken sich bis zu 300 m von der Lagerstätte; die Grösse dieses Dispersionshofes ist aber sehr wahrscheinlich z.T. durch die Deponien der Mine bedingt.

KOEHN (1966) analysierte 487 *Bodenproben* auf Arsen über der Gold-Arsen-Lagerstätte von Salanfe im Unterwallis. Die Mächtigkeit der Böden schwankt zwischen 25 und einigen cm. Die bekannten Vererzungen konnten nachgewiesen werden.

LOUP & WOODTLI (1966): Im Waadtländer Jura wurden in vier Profilen *Bodenproben* auf Pb und Zn untersucht. Diese rein geochemische Untersuchung, in einem Gebiet ohne bekannte Vererzungen, gibt uns Durchschnittswerte für Blei und Zink in den Böden über bestimmten stratigraphischen Einheiten des Jura. Die Gesamtheit der 63 Proben ergibt für Blei einen Schwellenwert von 100 ppm und für Zink einen solchen von 190 ppm. Die Durchschnittswerte sind für Blei 29 ppm und für Zink 73 ppm.

JENNI (1972) unternahm geochemische, biogeochemische und hydrogeochemische Untersuchungen über bereits lokalisierten Pb-Zn-Cu-Vererzungen im Gebiet des Bristenstockes (Kanton Uri). Am zweckmässigsten erweist sich nach diesem Autor die *biogeochemische* Prospektionsmethode zur Übersichts-, wie auch zur Detailprospektion. Es wird darauf hingewiesen, dass die biogeochemischen Anomalien in steilem Gelände stark verschleppt werden.

### 1.3.2 PROBLEMSTELLUNG

Es sollte versucht werden, mittels geeigneter geochemischer Prospektionsmethoden die bereits bekannten Vererzungen bei Trachsellauenen nachzuweisen. Die damit erhaltenen Daten werden im Blick auf die Verwendbarkeit dieser Methode in analogen Gebieten der Alpen ausgewertet. Ein damit erhaltenes Prospektionsmodell soll Aussagen zu prinzipiellen Fragen geben, wie z.B. über die Methodik und die kleinste, notwendige Probenanzahl. Es wurde daher im Lauterbrunnental bewusst vorerst eine viel zu grosse Probenanzahl gesammelt und analysiert. Damit war dann die Möglichkeit gegeben, die Probenanzahl auf die „kleinst mögliche“ zurückzurechnen. Dies war notwendig, da nicht bekannt war, welche geochemischen Anomalien solche gangförmigen Erzvorkommen in dieser geologischen Lage und unter solchen topographischen und hydrographischen Verhältnissen ergeben würden. Unbekannt war vor allem der Einfluss aus dem Gebiete der autochthonen und parautochthonen Sedimente auf das geochemische Bild im kristallinen Gebiet. Eine Beeinflussung war infolge der topographischen und tektonischen Verhältnisse zu erwarten (vgl. dazu den Geländecharakter anhand von Fig. 2 und 3). Die Untersuchung der Geochemie der Flussedimente, kombiniert mit derjenigen der Böden, wurde als die zweckmässigste Methode erachtet. Bei diesem ersten Versuch ist davon abgesehen worden, auch biogeochemische Methoden anzuwenden.

Die durchgeführte geochemische Prospektion erfasste 27 km<sup>2</sup> im alpinen Gebiet mit ausgeprägtem Relief. Die Probenahme erfolgte zwischen 600 m und 1920 m Höhe über Meer.

Zur Aufstellung unseres *Prospektionsmodelles* ergeben sich folgende, abzuklärende Fragen:

*A. Geochemische Prospektion mit Flussedimenten:*

- Ist es möglich, mit Hilfe der Geochemie der Flussedimente in einer Übersichtsprospektion gangartige Pb–Zn–Baryt–Vererzungen des Typus Trachsellaunen zu lokalisieren?
- Wie weit flussabwärts sind die durch die Vererzungen hervorgerufenen anomalen Metallgehalte in den Flussedimenten feststellbar?
- Welche Auswirkungen haben die geologischen und topographischen Verhältnisse auf die Geochemie der Flussedimente? Diese prinzipielle Frage gilt für den ganzen nördlichen Teil des Aarmassivs mit seinen sedimentären Keilen. Die gegenseitige Beeinflussung der Flussedimente aus den geologisch verschiedenen Einzugsgebieten, d.h. aus Gebieten mit vorwiegend kristallinem, resp. sedimentärem, vorwiegend karbonatischem Material, ist abzuklären.
- Welches ist die minimal notwendige Probenzahl pro km<sup>2</sup>, um Hinweise auf die Vererzungen zu erhalten?

*B. Pedogeochemische Prospektion:*

- Ist es möglich, mit Hilfe der Geochemie der Böden, in einer Übersichtsprospektion, Pb–Zn–Baryt–Vererzungen des Typus Trachsellaunen zu lokalisieren?
- Welches ist die Ausdehnung der zu erwartenden sekundären Dispersionshöfe?
- Welche Auswirkungen haben die geologischen und topographischen Verhältnisse, wie z.B. die Sedimentkeilbildungen, auf das geochemische Bild der Böden?
- Welches ist der minimal einzuhaltende Probenabstand um solche Vererzungen zu lokalisieren?

*Zur Lösung dieser Fragen wurde folgendermassen vorgegangen:*

- a) Die Probenpunkte für die Flussedimente wurden sehr eng gelegt. Damit kann die Ausdehnung des sekundären Dispersionshofes festgestellt werden.
- b) Bodenproben wurden 1.) in Bodenprofilen über bekannten und vermuteten Vererzungen und 2.) entlang der begangenen Fusswegen (= „track-soil-sampling“) gesammelt.
- c) Das Prospektionsgebiet im hinteren Lauterbrunnental besteht überwiegend aus Lauterbrunner Kristallin. Ergänzend wurde ein kleines Gebiet im Sefinental prospektiert, das aus autochthonen Sedimenten besteht.

In den folgenden Kapiteln sind die Resultate der Flussedimente (Kapitel 2), der Bodenproben (Kapitel 3) und die aufgefundenen Gebiete anomaler Metallkonzentrationen dargestellt und diskutiert (Kapitel 4). Abschliessend werden die Resultate der geochemischen Prospektion zusammengefasst und die angewandten Methoden auf ihre Verwendbarkeit geprüft (Kapitel 5).

### *1.3.3 DARSTELLUNG DER GEOCHEMISCHEN DATEN*

Um die Beziehungen zwischen den lokalen Verhältnissen, Geologie, Topographie und Hydrographie, mit den geochemischen Daten zeigen zu können, wurden die Resultate der geochemischen Prospektion für jedes Element in einer schematischen geologischen Karte dargestellt. Diese Darstellung, die im Gegensatz zu der sonst üblichen, mit nur dem Fluss-, resp. Wegnetz, unübersichtlicher erscheinen mag, schien für unsere Zwecke besser geeignet. Sie zeigt auf den ersten Blick den Zusammenhang

zwischen der Geochemie einerseits und der Topographie sowie der geologisch verschiedenen Einzugsgebiete (bei Flusssedimenten), bzw. des geologischen Untergrundes (bei Bodenproben) andererseits. Eine eventuelle Kontaminierung des Probenmaterials ist so leicht lokalisierbar.

In diesen geologischen Karten wurden die erhaltenen Analysenwerte für Cu, Pb, Zn und Ba in jeweils fünf Gruppen zusammengefasst dargestellt. Die Einzelwerte enthält ein dieser Arbeit nicht beigegebenes Analysenprotokoll (Manuskript).

Die Klassierung der Analysenwerte wurde über das ganze Gebiet einheitlich durchgeführt. Das heisst, dass einem bestimmten Metallgehalt in den Flusssedimenten aus kristallinem Einzugsgebiet eine andere geochemische Bedeutung zukommt als demselben Wert in Flusssedimenten, deren Einzugsgebiet aus autochthonen Sedimenten besteht. Anders ausgedrückt heisst das: Ein Wert von z.B. 30 ppm Cu bedeutet in Flusssedimenten, deren Einzugsgebiet aus autochthonen Sedimenten besteht, bereits eine anomale Metallkonzentration. Der gleiche Wert entspricht in Flusssedimenten aus kristallinem Einzugsgebiet noch nicht einer anomalen Metallkonzentration, da für dieses Gebiet der Schwellenwert für Kupfer bei 50 ppm liegt. Bevor man daher die Resultate interpretieren kann, ist es notwendig, sich mit der angewandten statistischen Auswertung der Daten vertraut zu machen.

Die ersten Ergebnisse dieser Untersuchungen finden sich in einem unpublizierten Rapport (SAHEURS, 1973).

#### *1.3.4 DIE STATISTISCHE AUSWERTUNG DER ANALYSENERGEBNISSE*

Die statistische Auswertung der geochemischen Daten der Flusssedimente und der Böden hat zum Ziel den regionalen Untergrund („background b“) eines Elementes von allfälligen Elementanomalien zu unterscheiden.

Ausgezeichnete Darstellungen zur Lösung dieser für die Prospektion äusserst wichtigen Fragen gaben ACKERMANN (1973), BØLVIKEN (1971), HUBAUX (1961), LEPELTIER (1969), NICHOL et al. (1969), PARSLOW (1974), TENNANT & WHITE (1959), SINCLAIR (1974) und WILLIAMS (1967). Für die Interpretation und Klassifikation geochemischer Anomalien siehe DUBOV (1973) und TIMPERLEY et al. (1972).

Die allgemein bekannten Verfahren der Statistik seien hier nicht wiederholt und für dieselbe sei auf entsprechende Literatur verwiesen. Für Grundlagen und Methodik der Statistik, wie auch deren Anwendung auf geochemische Fragen siehe AGTERBERG (1974), AGTERBERG & KELLY (1971), BAKHTIN (1964), BÖTTCHER & TISCHENDORF (1969), CHERNYSHEV & SHANIN (1964), GARRETT (1969, 1973), GRIFFITHS (1970), HASELOFF & HOFFMANN (1965), JAMES (1970), KOCH & LINK (1970, 1971 a), KRUMBEIN & GRAYBILL (1965), KULMS & SIEMENS (1970), LAFFITTE, edit. (1972), MARSAL (1967), MATHERON (1962, 1963), MC COLLOUGH & VAN ATTA (1972), MCL MICHIE (1973), MIESCH (1967), MILLER & KAHN (1967), MORONEY (1970), PLANT (1973), RIEDWYL (1971), RODIONOV et al. (1965), THIERGÄRTNER (1968) und THIERGÄRTNER & KOCH (1969).

Mit der geochemischen Verteilung der Spurenelemente, die oft lognormal oder angenähert lognormal verläuft, befassten sich AHRENS (1954 a, b), BOROVKO (1964), GRUZA (1965), OERTEL (1969), MILLER & GOLDBERG (1955), RODIONOV (1961, 1962, 1963) und TOLSTOY et al. (1965).



Bei der Betrachtung unserer Analysenergebnisse, dargestellt als Säulendiagramme (z.B. Fig. 15, Seite 44), fällt auf, dass eine Überlagerung verschiedener Populationen vorliegt. Die Darstellung im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz ermöglicht es, die Aufteilung in Teilpopulationen gut sichtbar zu machen (vgl. dazu z.B. Fig. 18, Seite 46). Es ist jedoch oft sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, einen einzelnen Analysenwert einer bestimmten Teilpopulation zuzuordnen. Daher muss mit Hilfe der Feldbeobachtungen bereits eine Vorselektion vorgenommen werden, wie z.B. die Abgrenzung der Einzugsgebiete für die Flussedimente.

Besteht nun eine gefundene Metallverteilung aus verschiedenen Teilpopulationen, so ist es von grosser Wichtigkeit, zwischen der Untergrundpopulation und den anomalen Populationen unterscheiden zu können. Das Auffinden von Teilpopulationen geschieht am einfachsten graphisch, indem die Analysenwerte logarithmisch transformiert und als Summenkurve im Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt werden. Hier bilden die Populationen verschieden steil einfallende Geraden. Stellt die untersuchte Population eine einzige Normalverteilung dar, so erscheint diese im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz als eine Gerade.

Eine Häufigkeitsverteilung ist durch ihre Mittelwerte <sup>1)</sup> und die Standardabweichung <sup>2)</sup> charakterisiert. Konventionell wird angenommen, dass der Backgroundwert dem Zentralwert entspricht und als Schwellenwert wird derjenige Wert bezeichnet, der mehr als zwei Standardabweichungen über dem Zentralwert liegt. Der *Schwellenwert* *t* (engl.: „threshold“) grenzt die anomalen Metallwerte (= Anomalie) von den Untergrundwerten ab (HAWKES & WEBB, 1962:30; LEPELTIER, 1959: 544) <sup>3)</sup>. Background- und Schwellenwert stellen in unserer graphischen Darstellung im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz den Schnittpunkt zwischen der Verteilungskurve und der 50% Ordinate, beziehungsweise dem Schnittpunkt der Kurve mit der 97,7% Ordinate dar.

Zur Interpretation der Analysendaten werden nun diese Parameter in der Population mit den niedrigsten Metallgehalten und der grössten Verbreitung bestimmt. In Angleichung an BØLVIKEN (1971) wird diese Verteilung *Background-Population BP* genannt.

Wünschenswert ist die Kenntnis des Zusammenhanges zwischen zwei Elementen. In einem bestimmten Einzugsgebiet kann z.B. zwischen Cu und Pb ein direkter Zusammenhang bestehen, in anderen Gebieten nicht. Damit lässt sich der Einfluss der verschiedenen Einzugsgebiete zueinander feststellen.

1) Zentralwert *Z* (engl.: „median“): Dieser entspricht demjenigen Wert, der die Verteilung in zwei gleich grosse Hälften teilt. Arithmetisches Mittel  $\bar{x}$  (engl.: „mean“): Damit wird derjenige Wert bezeichnet, bei dem die Summe der Abstände zu allen anderen Messwerten der Verteilung gleich ist ( $\bar{x} = \sum X/N$ ).

Der Modalwert, Modus oder Gipfelwert (engl.: „mode“) ist definiert als der am häufigsten vorkommende Beobachtungswert der Population. Nur im Falle einer absolut symmetrischen Verteilungskurve fallen diese Mittelwerte zusammen.

2) Die Standardabweichung *s* (engl.: „standard deviation“) entspricht der Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Abweichungen vom arithmetischen Mittel:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{N}}$$

Bei einer Normalverteilung ist der Flächeninhalt von  $\pm 2 s$  vom Mittelwert gleich 95,4 %.

3) Wie problematisch die Definition des Begriffes Anomalie ist, zeigt z.B. BØLVIKEN (1971). Nach diesem Vorschlag enthält die Background-Population die meisten Beobachtungswerte. Alle davon verschiedenen Populationen werden als Anomalie bezeichnet. Hier wird der Begriff des Schwellenwertes bedeutungslos. Vgl. zum Problem „Anomalie“ auch PARSLow (1974), SINCLAIR (1974) und WOODSWORTH (1971).

Ein Mass für die Grösse eines solchen Zusammenhanges bildet der *Korrelationskoeffizient*  $r$  <sup>1)</sup>. Er kann zwischen den Werten +1 und -1, d.h. zwischen einer perfekten positiven und einer negativen Korrelation schwanken. Ist  $r = 0$ , so besteht keine Korrelation.

Für unsere Untersuchungen sind in dieser Arbeit die Z- und t-Werte und die Korrelationskoeffizienten  $r$  berechnet und diskutiert. Damit wird eine erste Interpretation der geochemischen Daten erfolgen.

### 1.3.5 ANALYSENMETHODEN

Die gesammelten Proben der Flusssedimente und der Böden wurden im Labor der Borax Consolidated in Chessington / Surrey, England, analysiert.

Nach der Trocknung der Proben wurde die „minus 80-Mesh-Fraktion“ weiterverarbeitet. Die pulverisierte Probe wurde mit  $\text{HNO}_3$  (50 %-ig) heiss behandelt und im Salpetersäureauszug die Elemente Cu, Pb und Zn quantitativ mit einem Atomabsorptions-Spektralphotometer bestimmt. Die Nachweisempfindlichkeit liegt bei dieser Methode für Cu bei 2 ppm, für Pb bei 10 ppm und für Zn bei 5 ppm. Der analytische Fehler variiert um 15 % für mittlere und hohe Werte und um 25 % für Werte kleiner als 20 ppm. Die Bariumgehalte wurden mit der Röntgenfluoreszenz-Methode bestimmt.

Diese Analysengenauigkeit, wie sie üblicherweise in der Praxis verwendet wird, wurde für eine erste geochemische Erkundung als ausreichend erachtet. Es ging ja in erster Linie darum, allfällig vorhandene geochemische Anomalien aufzufinden.

1) Die Korrelationskoeffizienten wurden nach der Formel der Produktmomentkorrelation berechnet:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})}{N \cdot s_X \cdot s_Y}$$

## 2 Geochemie der Flussedimente

### 2.1 ALLGEMEINES

Die heutzutage durchgeführten Prospektionsarbeiten zielen im allgemeinen auf sehr grosse Erzkörper, wie z.B. „Porphyry Copper“ Lagerstätten oder schichtgebundene Pb-Zn-Vererzungen, die meistens grössere Dispersionshöfe aufweisen. Diese erlauben in einer Übersichtsprospektion eine relativ geringe Probendichte. Im Gegensatz dazu wollten wir versuchen, diese Methode zum Auffinden von geringmächtigen, gangförmigen Vererzungen anzuwenden. Wegen den zu erwartenden engbegrenzten Dispersionshöfen wurden die Flussedimentproben bei diesem in den Schweizeralpen ersten grösseren Versuch dicht aufeinander entnommen.

Für unsere Untersuchungen berücksichtigten wir als Beispiele durchgeführter Prospektionen mit Flussedimenten besonders die Arbeiten von BIANCONI & SAAGER (1971), BIØRLYKKE et al. (1973), BØLVIKEN (1967), BOYLE et al. (1966, 1968), BRUNDIN (1969), BRUNDIN & NAIRIS (1972), DAHLBERG (1969), FLETCHER & DOYLE (1971), GARRETT & NICHOL (1969), HAWKES & BLOOM (1956), HILMER et al. (1974), MC CARTNEY & MC LEOD (1965), MEHRTENS & TOOMS (1973), MÜLLER-KAHLE (1966, 1972), NICHOL et al. (1966, 1967), OBIAL (1970), OBIAL & JAMES (1973), REEDMAN & GOULD (1970), ROSE et al. (1970), SAAGER & SINCLAIR (1974) und WOODSWORTH (1971).

### 2.2 PROBENNAHME

Die durch das alpine Relief bedingte grosse Strömungsgeschwindigkeit der Gewässer ist einer Bildung von feinkörnigen Flussedimenten nicht förderlich. Diese Flussedimentanreicherungen werden in den meisten Fällen laufend oder aber beim nächsten Hochwasser wieder ausgewaschen. Das Probenmaterial musste zuerst im Feld grob vorgeseibt werden um genügend Material zur Analyse zu erhalten, die an der „minus 80 Mesh-Fraktion“ (d.h. kleiner 177 Micron) durchgeführt wird. Das so erhaltene Material wurde in wasserfeste Probensäcke verpackt und dann an der Luft vorgetrocknet (200 – 250 g). Da die Menge der zu erhaltenden „-80 Mesh-Fraktion“ nicht bekannt war, wurden von jedem Probenpunkt zwei Proben entnommen. An 37 Stichproben wurde die insgesamt erhaltene „-80 Mesh-Fraktion“ gewogen. Es resultierte dabei eine durchschnittliche Menge von 40 Gramm/Probe. Auf diese Art und Weise gelang es ausnahmslos für alle Probenpunkte genügend Material für die Analyse zu erhalten.

Die Probenahme erfolgte in der Zeit von Mitte August bis Mitte Oktober 1972<sup>1)</sup>. Für jede Probe wurden alle entsprechenden Daten, wie Gewässerbeschreibung, Situation, Datum, Art der Probe etc., in einem Protokoll festgehalten.

1) Die Probenahme der Flussedimente erfolgte zur gleichen Zeit wie diejenige der Bodenproben („track-soil-sampling“), wobei sich eine effektive Arbeitszeit von 15 Tagen, d.h. 24 Flussedimente-Proben / Tag / Mann ergab.



Die Gesamtmenge der 358 analysierten Proben verteilte sich auf folgende Einzugsgebiete:

Kristallin	:	142 Proben
Autochthone Sedimente	:	110 Proben
Parautochthone Sedimente	:	16 Proben
Weisse Lutschine ob Stechelberg	:	59 Proben
Weisse und Schwarze Lutschine von Stechelberg, resp. Grindelwald bis Wilderswil	:	31 Proben

Es war nicht möglich, die saisonale Variation der Geochemie der Flusssedimente zu berücksichtigen, die in diesem Gebiet bestimmt eine Rolle spielen dürfte (vgl. dazu DE GRYS, 1961, 1962; HORSNAIL et al. 1969; KROON & DE GRYS, 1970 und GOVETT, 1961).

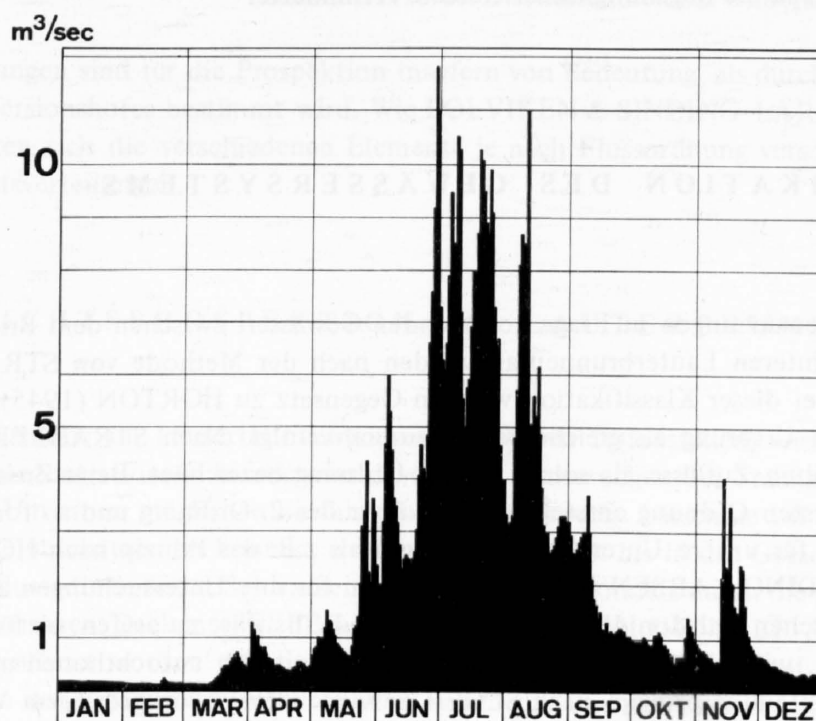


Fig. 4

Abflussmengen der Weissen Lutschine im Jahre 1972

Station: Sichelaluppenen <sup>1)</sup> (nach Originalunterlagen der BKW umgezeichnet und schematisiert)

- 1) Ab Ende Juni bis Jahresende war das Pegelbassin verschüttet und die Pegelschwelle durch grosse Blöcke überhöht. Die andauernden Veränderungen und die Wirkung einer sekundären Schwelle verhinderten die Ermittlung exakter Durchflusswerte während dieser Zeitspanne. Die Werte erscheinen zu hoch im Vergleich mit denjenigen der Stationen „Sefinen Lutschine - Brand“ und „Weisse Lutschine - Buchen“.

Für die Übersichtsprospektion (siehe 2.4) wurden ausgewählte Proben der 358, vorwiegend aus der Weissen- und Schwarzen Lutschine, verwendet. Die Bernischen Kraftwerke AG führen in den Lütchi-

nentälern seit einigen Jahren Wassermessungen durch <sup>1)</sup>. Die uns dadurch zur Verfügung stehenden Daten der Abflussmengen für 1972 erlauben, die zur Zeit der Probenahme herrschenden hydrographischen Bedingungen zu erfassen (vgl. dazu Fig. 4) <sup>2)</sup>. Für die Prospektion ist dies insofern von Bedeutung, als damit festgestellt werden kann, ob zur Zeit der Probenahme optimale hydrographische Bedingungen zur Bildung des geochemischen Bildes herrschten. Sollte dies nicht der Fall gewesen sein, so kann bei nicht klar definierten Anomalien eine erneute, selektive Probenahme Klarheit schaffen. Die Gangkurven der vergangenen Jahre zeigen deutlich, dass sich die optimalen hydrographischen Verhältnisse nicht vorhersagen lassen. Es kann immer wieder unerwartete Hochwasser geben, die das ganze Bild wieder verfälschen können.

Während der Probenahme ist man zudem auf die klimatischen Verhältnisse angewiesen. Es ist recht schwierig, diese Notwendigkeit mit den hydrographischen Verhältnissen und dem Faktor Zeit in Übereinstimmung zu bringen. Aus diesen Gründen war es zum Beispiel nicht möglich gewesen, Flusssedimente und Bodenproben aus dem Gebiet Spitzhorn – Busenalp – Busenfluh zu beschaffen, da ein früher Schneefall die Begehung dieser Gebiete verhinderte.

## 2.3 KLASSIFIKATION DES GEWÄSSERSYSTEMS

Die für unsere Untersuchungen in Frage kommenden Gewässer, zwischen dem Brienzersee (Interlaken) und dem hinteren Lauterbrunnental, werden nach der Methode von STRAHLER (1952, 1957) gegliedert. Bei dieser Klassifikation wird im Gegensatz zu HORTON (1945) der Hauptfluss nicht bis zu seinem Ursprung als gleiche Klasse zurückverfolgt. Nach STRAHLER (1952, 1957) werden alle ungeteilten Zuflüsse als solche der 1. Ordnung bezeichnet. Beim Zusammenfluss von zwei Flüssen der ersten Ordnung entsteht ein Gewässer der 2. Ordnung und so fort. Diese Einteilung bewährte sich für unsere Untersuchungen besser als z.B. das Prinzip nach HORTON (1945). BØLVIKEN & SINDING-LARSEN (1973) verwendeten für ihre Untersuchungen an Flusssedimenten in den norwegischen Kaledoniden die gleiche Methode. Es wäre zu prüfen, ob für grössere Übersichtsprospektionen, wie z.B. für das gesamte Aarmassiv mit den autochthonen und helvetischen Sedimenten, das Einteilungsprinzip nach SCHEIDEGGER (1965) von grösserem Vorteil wäre, da hier die Anzahl der jeweiligen Zuflüsse ins Gewicht fällt.

1) Es handelt sich dabei um folgende Wassermess-Stationen:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1. Weisse Lütschine (Sichellauen)             | : K. 635'790/154'280/ 920 m.ü.M.  |
| 2. Sefinen Lütschine-Sefinental (Brand)       | : K. 634'440/154'500/ 1120 m.ü.M. |
| 3. Weisse Lütschine-Lauterbrunnental (Buchen) | : K. 636'330/158'500/ 810 m.ü.M.  |
| 4. Weisse Lütschine-Zweilütschinen            | : K. 635'310/164'550/ 650 m.ü.M.  |

Die Situation dieser Wassermess-Stationen ist in Fig. 5 eingetragen.

2) Herr Wyss von der Abt. für Hydrologie der Bernischen Kraftwerke AG bemühte sich um diese Unterlagen und stellte sie mir freundlicherweise zur Verfügung, wofür ich ihm an dieser Stelle nochmals bestens danken möchte.

*Fluss-Ordnungsprinzip nach  
STRAHLER (1952, 1957)*

*Beispiele im Lauterbrunnental*

1	Bäche auf Breitlauenenalp im Böswang und auf dem Salzknubel, auf Stägen und im Schwendiwald
2	Chrummbach bis ins Läger, Mattenbach und Staldenbach
3	Weisse Lütschine vom Tal bis in den Scheuerboden, unterer Teil des Rottalbaches
4	Weisse Lütschine vom Scheuerboden bis nach Stechelberg, Sefinen Lütschine von der Säge bis nach Stechelberg
5	Weisse Lütschine s.l. (von Stechelberg bis Zweilütschinen), Schwarze Lütschine von Grindelwald bis Zweilütschinen
6	Lütschine s.l. (von Zweilütschinen bis Wilderswil)

Diese Flussordnungen sind für die Prospektion insofern von Bedeutung, als durch sie die Grösse des sekundären Dispersionshofes bestimmt wird. Wie BØLVIKEN & SINDING-LARSEN (1973) zeigen konnten, verhalten sich die verschiedenen Elemente je nach Flussordnung verschieden und bilden eigene Häufigkeitsverteilungen.

## 2.4 ÜBERSICHTSPROSPEKTION IM LAUTERBRUNNENTAL

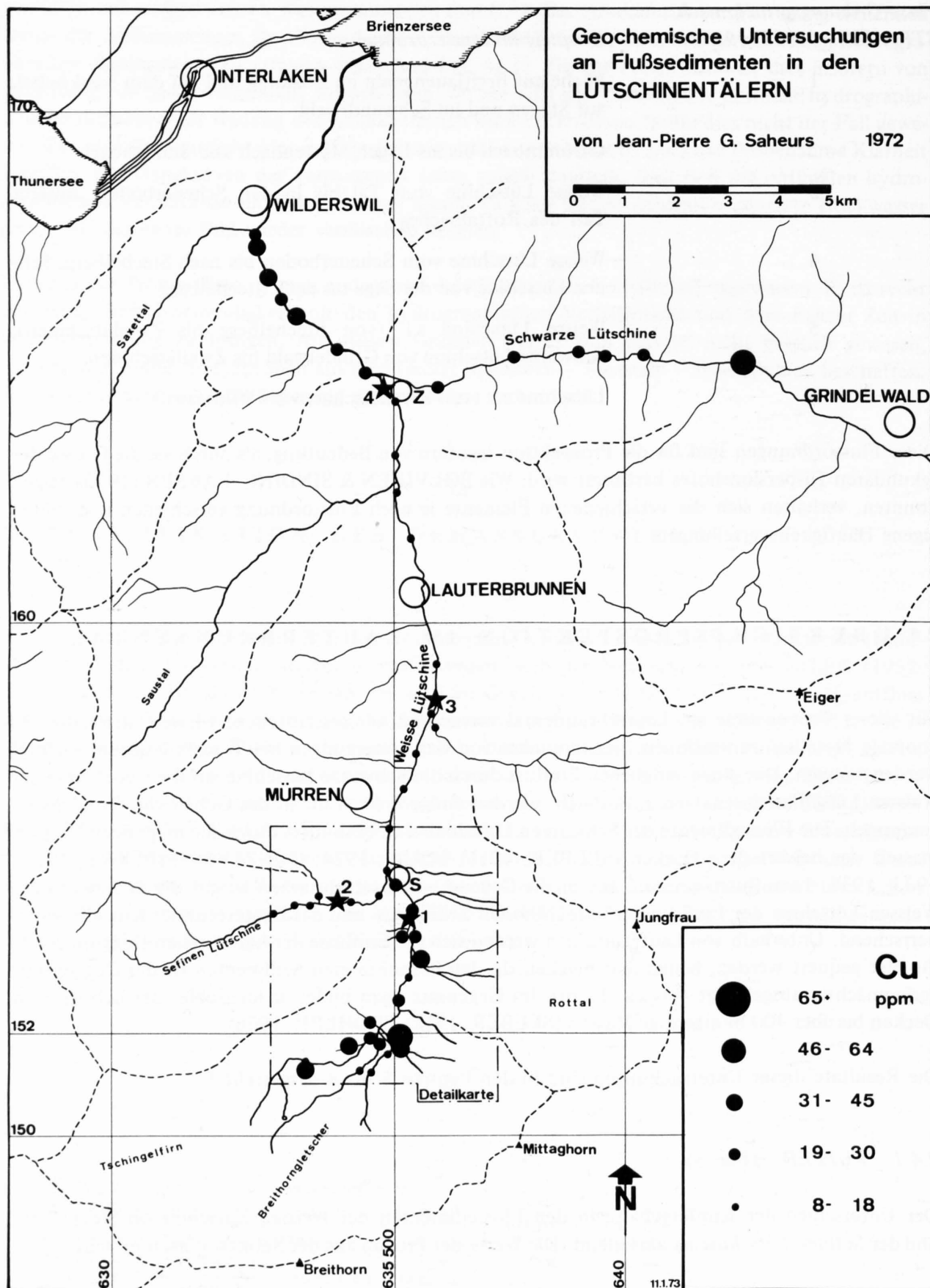
Mit dieser Probenahme im Lauterbrunnental versuchten wir festzustellen, wieweit stromabwärts anomale Metallkonzentrationen, herstammend von den Vererzungen bei Trachsellaunen, verfolgt werden können. Um einen möglichen Einfluss durch die Schwarze Lütschine auf die Geochemie der Weissen Lütschine abschätzen zu können, wurden einige Proben bis in das Gebiet von Grindelwald gesammelt. Die Flusssedimente der Schwarzen Lütschine sind besonders durch die mächtigen Doggermassen der helvetischen Decken (SEEBER, 1911; LOUIS, 1924; GÜNZLER-SEIFFERT, 1925, 1933, 1938) beeinflusst worden. Bis in die Gegend von Lauterbrunnen ist auf die Sedimente der Weissen Lütschine der Einfluss der autochthonen Sedimente und des Lauterbrunner Kristallins vorherrschend. Unterhalb von Lauterbrunnen werden sich die Einflüsse der helvetischen Doggermassen, die hier gequert werden, bemerkbar machen. In den autochthonen Sedimenten ist der Dogger sehr geringmächtig ausgebildet (bis ca. 12 m). Im Gegensatz dazu bildet er im Gebiet der helvetischen Decken bis über 400 m mächtige Massen (SEEBER, 1911; TRÖHLER, 1966).

Die Resultate dieser Untersuchungen sind in den Figuren 5 bis 8 dargestellt <sup>1)</sup>.

### 2.4.1 KUPFER (Fig. 5)

Der Unterschied der Kupfergehalte in den Flusssedimenten der *Weissen Lütschine* ob Stechelberg und der *Sefinen Lütschine* ist auffallend: Die Werte der Proben aus der Sefinen Lütschine schwanken

1) In den Übersichtskarten (Fig. 5 – 8) sind die Werte für den Bereich des Detailkartenausschnittes den Figuren 9 – 12 entnommen.





um 10 ppm Cu, in der Weissen Lutschine finden sich oberhalb von Stechelberg Gehalte von 22 ppm und höher. In diesem Kapitel der Übersichtsprospektion wird das hintere Lauterbrunnental vorerst als Einzelobjekt behandelt, d.h. ohne weitere Unterteilungen. Das Verhalten der einzelnen Elemente im hinteren Lauterbrunnental wird unten im Kapitel 2.5 diskutiert.

Von Stechelberg bis Zweilütschinen (Zusammenfluss der Weissen und der Schwarzen Lutschine) schwankt der Kupfergehalt um 14 ppm, um unterhalb von Zweilütschinen Werte zwischen 24 und 36 ppm zu erreichen. Diese höheren Werte scheinen durch die *Schwarze Lutschine* bedingt zu sein, deren Werte um 26 ppm schwanken. 3 km unterhalb von Grindelwald erscheint ein Wert von 54 ppm Cu. Ob es sich bei diesen höheren Werten in der Schwarzen Lutschine nur um Kontaminationen <sup>1)</sup> durch die Abwässer von Grindelwald handelt oder um die andersartige Geologie der Doggermassen, sei hier vorläufig dahingestellt. Abgesehen vom natürlichen Suspensionsanteil ist dieser Fluss unheimlich verschmutzt!

Ausgehend vom hinteren Lauterbrunnental lassen sich dort zu lokalisierende Kupferanomalien nur bis Stechelberg verfolgen, d.h. nur bis in die 4. Flussordnung. Ob es sich nun bei diesen höheren Kupferwerten um solche handelt, die einer Vererzung zugeschrieben werden können, oder ob es sich nur um ein Abbild der lithologischen Verhältnisse handelt, kann aus diesen Daten in diesem Zusammenhang noch nicht geschlossen werden.

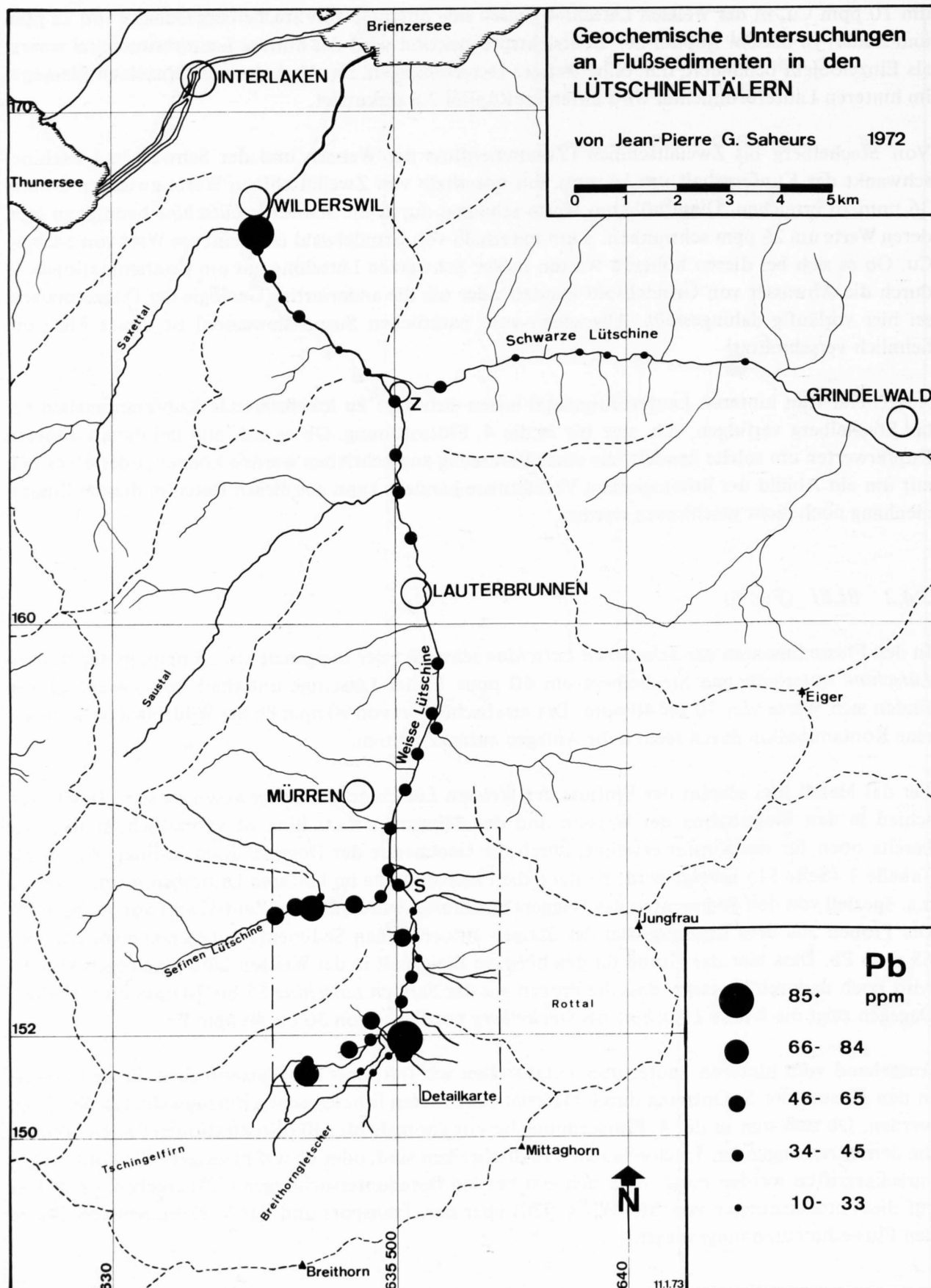
#### 2.4.2 BLEI (Fig. 6)

In den Flusssedimenten der *Schwarzen Lutschine* schwankt der Bleigehalt um 25 ppm, in der *Weissen Lutschine* unterhalb von Stechelberg um 40 ppm. In der Lutschine unterhalb von Zweilütschinen finden sich Werte von 30 bis 40 ppm. Der erratische Wert von 90 ppm Pb bei Wilderswil ist wohl auf eine Kontamination durch technische Anlagen zurückzuführen.

Für das Metall Blei scheint der Einfluss der Weissen Lutschine stärker gewesen zu sein. Der Unterschied in den Bleigehalten der Weissen und der Schwarzen Lutschine ist vermutlich, ähnlich wie bereits oben für das Kupfer erwähnt, durch die Geochemie der Doggermassen bedingt. Wie in der Tabelle 1 (Seite 51) gezeigt wird, besitzen die Flusssedimente im hinteren Lauterbrunnental, welche u.a. speziell von den Sedimenten des Doggers beeinflusst wurden, einen Zentralwert von 46 ppm Pb. Die Proben aus dem Einzugsgebiet der übrigen autochthonen Sedimente haben einen solchen von 65 ppm Pb. Dass hier der Grund für den höheren Bleigehalt in der Weissen Lutschine liegen könnte, wird noch dadurch bestärkt, dass die Proben aus der *Sefinen Lutschine* 55 bis 70 ppm Pb enthalten. Dagegen zeigt die *Weisse Lutschine* ob *Stechelberg* nur Werte von 30 bis 40 ppm Pb.

Ausgehend vom hinteren Lauterbrunnental stellen wir fest, dass die Bleianomalien dieses Gebietes in den Flüssen der 5. Ordnung durch Material aus anderen lithologischen Einzugsgebieten überprägt werden. Ob sich nun in der 4. Flussordnung bereits anomale Metallkonzentrationen finden können, die den Vererzungen bei Trachsellaunen zuzuschreiben sind, oder ob auf niedrigere Flussordnungen zurückgegriffen werden muss, wird sich erst bei den Detailuntersuchungen (2.5) ergeben. Es sei hier auf die Untersuchungen von BROWN (1970) über den Transport und das Vorkommen von Blei in den Flusssedimenten hingewiesen.

1) Zur Zeit der Probenahme existierte in Grindelwald noch keine ARA (Abwasser-Reinigungs-Anlage).



### 2.4.3 ZINK (Fig. 7)

Im Gegensatz zu den Elementen Kupfer und Blei lassen sich in der *Weissen Lüttschine* bis gegen Lauterbrunnen Zinkanomalien feststellen, deren Ursprung im hinteren Lauterbrunnental zu suchen ist. Zwischen Stechelberg und Lauterbrunnen finden wir Werte von bis zu 50 ppm Zn. Die Zinkgehalte in den Sedimenten der *Sefinen Lüttschine* betragen um 35 ppm. Wie für das Kupfer so ist auch für das Zink bereits in Stechelberg ein auffallender Unterschied in den Flusssedimenten der Sefinen Lüttschine und denjenigen der Weissen Lüttschine oberhalb von Stechelberg festzustellen.

Ausgehend vom hinteren Lauterbrunnental finden wir, dass sich dort zu lokalisierende Zinkanomalien knapp bis in die Flüsse der 5. Ordnung verfolgen lassen.

In der *Weissen Lüttschine unterhalb von Lauterbrunnen*, wie auch in der *Schwarzen Lüttschine*, scheint wiederum eine sehr starke Beeinflussung der Flusssedimente durch die Doggermassen stattgefunden zu haben. Die Zinkgehalte bewegen sich hier alle in der Grössenordnung von 55 bis 80 ppm. Die weitere Diskussion dieser Erscheinungen erfolgt in Kapitel 4.3.9 (Seite 78).

### 2.4.4 BARIUM (Fig. 8)

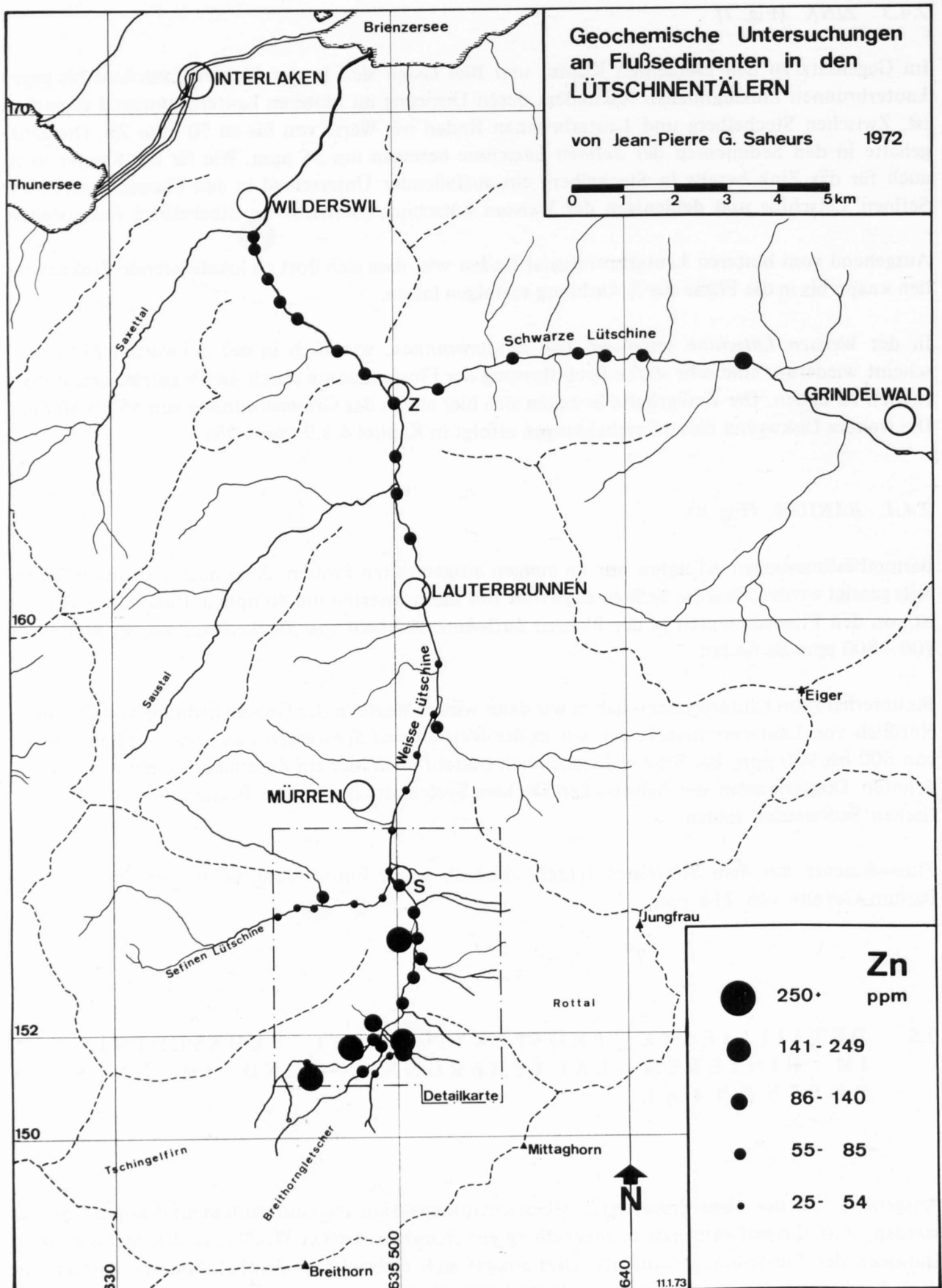
Bariumbestimmungen erfolgten nur an einigen ausgewählten Proben. Aber auch so kann doch bereits gezeigt werden, dass die *Sefinen Lüttschine* mit Bariumwerten um 80 ppm auffallend verschieden ist von den Flusssedimenten in der *Weissen Lüttschine oberhalb von Stechelberg*, wo wir Werte von 700 – 800 ppm Ba finden.

Bis unterhalb von Lauterbrunnen haben wir dann wieder Werte in der Grössenordnung von 200 ppm. Nördlich von Lauterbrunnen finden wir in der *Weissen und Schwarzen Lüttschine* wiederum Werte von 800 bis 900 ppm Ba. Sehr wahrscheinlich besteht auch hier ein Zusammenhang mit den ausgedehnten Doggermassen der helvetischen Decken. Systematische Barium-Bestimmungen von helvetischen Sedimenten fehlen.

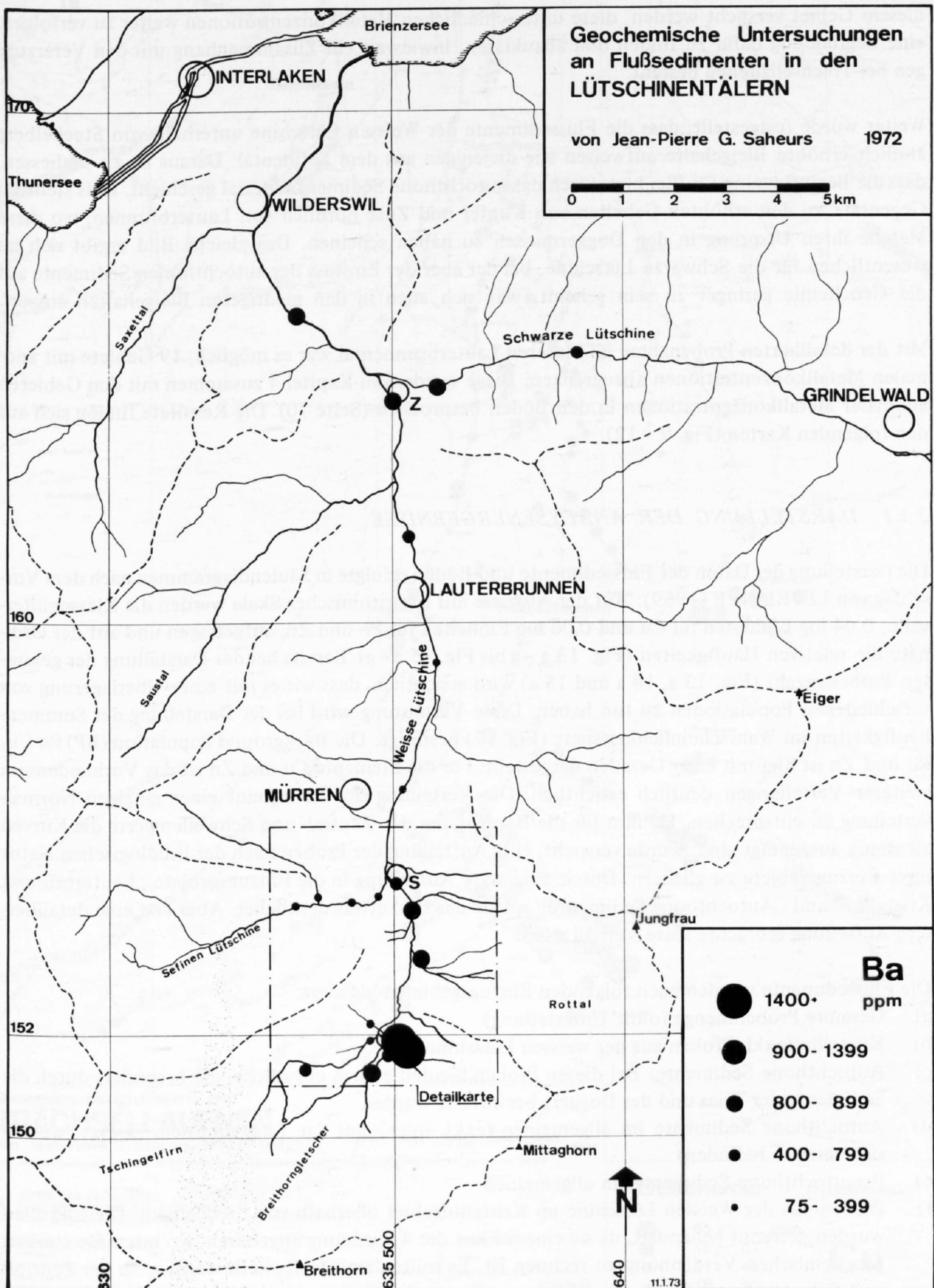
Flusssedimente aus dem *Schiltbach* führen oberhalb seiner Einmündung in die Sefinen Lüttschine Barium-Gehalte von 214 ppm.

## 2.5 DETAILLIERTE PROSPEKTION MIT FLUSSESEDIMENTEN IM HINTEREN LAUTERBRUNNEN- UND IM UNTEREN SEFINENTAL

Ausgehend von der oben diskutierten Übersichtsprospektion im Lauterbrunnental konnte gezeigt werden, dass flussaufwärts erst in Stechelberg ein charakteristischer Wechsel in den Metallkonzentrationen der Flusssedimente auftritt. Dies äussert sich einerseits in deutlich höheren Kupfer und Zink Konzentrationen im Material aus dem hinteren Lauterbrunnental, andererseits in höheren Bleigehalten in den Sedimenten aus dem Sefinental. Mit einer detaillierten Probenahme sollte nun in







diesem Gebiet versucht werden, diese unterschiedlichen Metallkonzentrationen weiter zu verfolgen, eine Begründung dafür zu finden und abzuklären, inwieweit ein Zusammenhang mit den Vererzungen bei Trachsellauen besteht.

Weiter wurde festgestellt, dass die Flusssedimente der Weissen Lutschine unterhalb von Stechelberg ähnlich erhöhte Bleigehalte aufweisen wie diejenigen aus dem Sefinental. Daraus ist zu schliessen, dass die Beeinflussung für Blei hier durch das autochthone Sedimentmaterial geschieht. Dies steht im Gegensatz zu den erhöhten Gehalten von Kupfer und Zink nördlich von Lauterbrunnen, wo diese Metalle ihren Ursprung in den Doggermassen zu haben scheinen. Das gleiche Bild ergibt sich im wesentlichen für die Schwarze Lutschine, bei der aber der Einfluss der autochthonen Sedimente auf die Geochemie geringer zu sein scheint, was sich auch in den niedrigeren Bleigehalten äussert.

Mit der detaillierten Probenahme im hinteren Lauterbrunnental war es möglich, 19 Gebiete mit anomalen Metallkonzentrationen abzugrenzen. Diese werden im Kapitel 4 zusammen mit den Gebieten anomaler Metallkonzentrationen in den Böden besprochen (Seite 70). Die Resultate finden sich auf den folgenden Karten (Fig. 9 – 12).

### 2.5.1 DARSTELLUNG DER ANALYSENERGEBNISSE

Die Darstellung der Daten der Flusssedimente und Böden erfolgte in Säulendiagrammen nach dem Vorschlag von LEPELTIER (1969): Auf der Abszisse mit logarithmischer Skala werden die Klassenintervalle, 0,04 log Einheiten für Cu und 0,06 log Einheiten für Pb und Zn, aufgetragen und auf der Ordinate die relativen Häufigkeiten (Fig. 13 a – g bis Fig. 15 a – g). Bereits bei der Darstellung der gesamten Probenanzahl (Fig. 13 a, 14 a und 15 a) wird ersichtlich, dass wir es mit einer Überlagerung von verschiedenen Populationen zu tun haben. Diese Vermutung wird bei der Darstellung der Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz (Fig. 17) bestätigt: Die Background Population (BP) für Cu, Pb und Zn ist hier mit einer Geraden dargestellt. Für die Elemente Cu und Zn ist das Vorhandensein weiterer Verteilungen deutlich ersichtlich. Die Verteilung des Pb scheint einer einzigen Normalverteilung zu entsprechen. Da nun für die Berechnung der Zentral- und Schwellenwerte die Kurven zu wenig ausgeprägt sind, wurde versucht, eine Aufteilung der Proben nach der lithologischen Natur ihrer Einzugsgebiete zu gliedern. Durch eine erste Aufteilung in die Einzugsgebiete „Lauterbrunner Kristallin“ und „Autochthone Sedimente“ wurde das Bild etwas deutlicher. Aber erst eine detailliertere Aufteilung erbrachte klare Verhältnisse.

Die Flusssedimente wurden nach folgenden Einzugsgebieten klassiert:

- a) Gesamte Probenmenge (ohne Unterteilung)
- b) Kristallin (exkl. Proben aus der weissen Lutschine)
- c) Autochthone Sedimente: Bei diesen Proben handelt es sich um solche, die besonders durch die Sedimente der Trias und des Doggers beeinflusst wurden
- d) Autochthone Sedimente im allgemeinen (exkl. solche aus der Trias und dem Dogger, welche sich unter c befinden)
- e) Parautochthone Sedimente im allgemeinen
- f) Proben aus der Weissen Lutschine im Kristallingebiet oberhalb von Stechelberg. Diese Proben wurden getrennt behandelt, da sie einem Fluss der 4. Ordnung angehören, wo mit einer starken geochemischen Verdünnung zu rechnen ist. Es sollte damit festgestellt werden, ob der Zentral- und Schwellenwert für die verschiedenen Flussordnungen variiert (BØLVIKEN & SINDING-LARSEN, 1973)

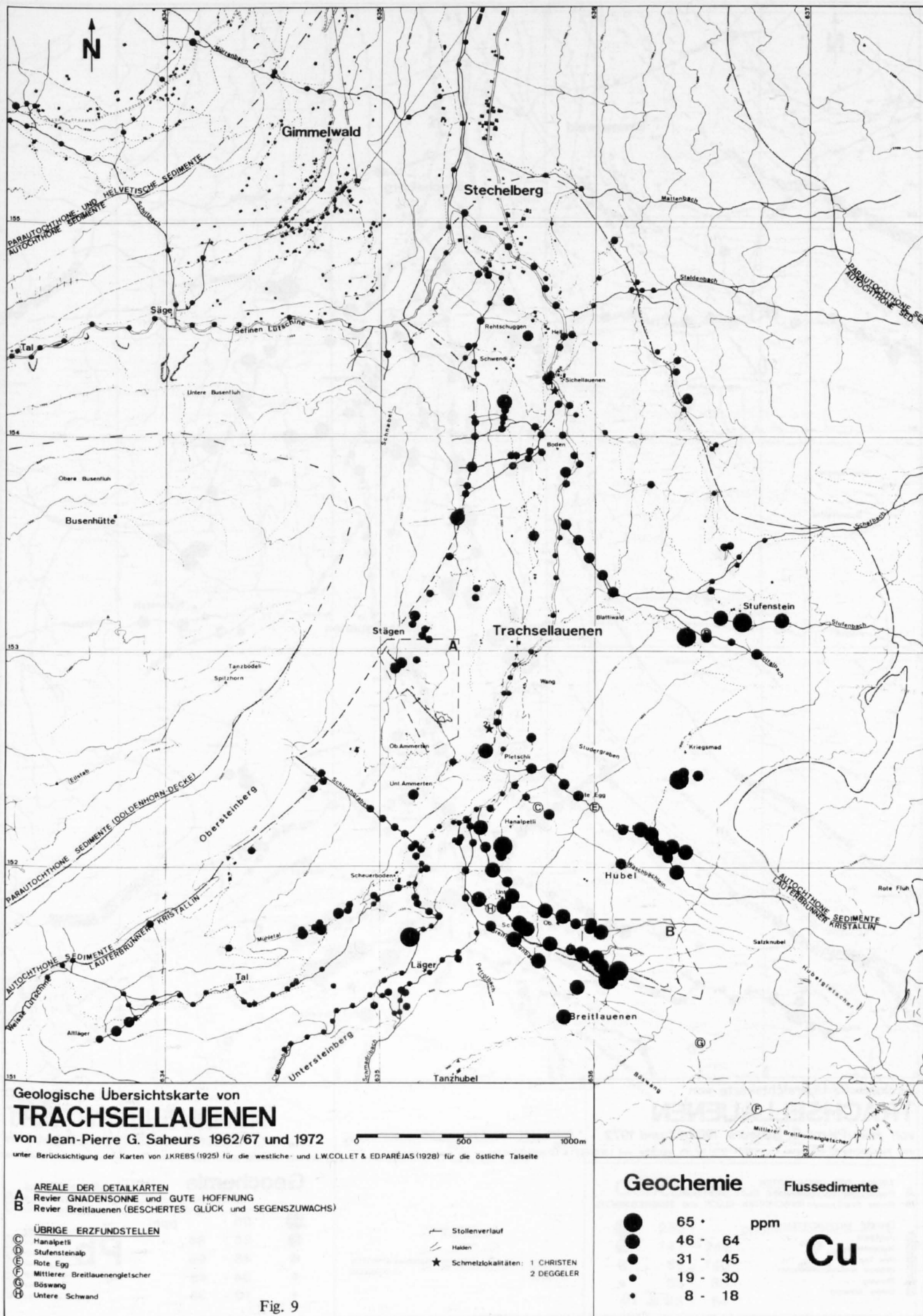


Fig. 9

Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975

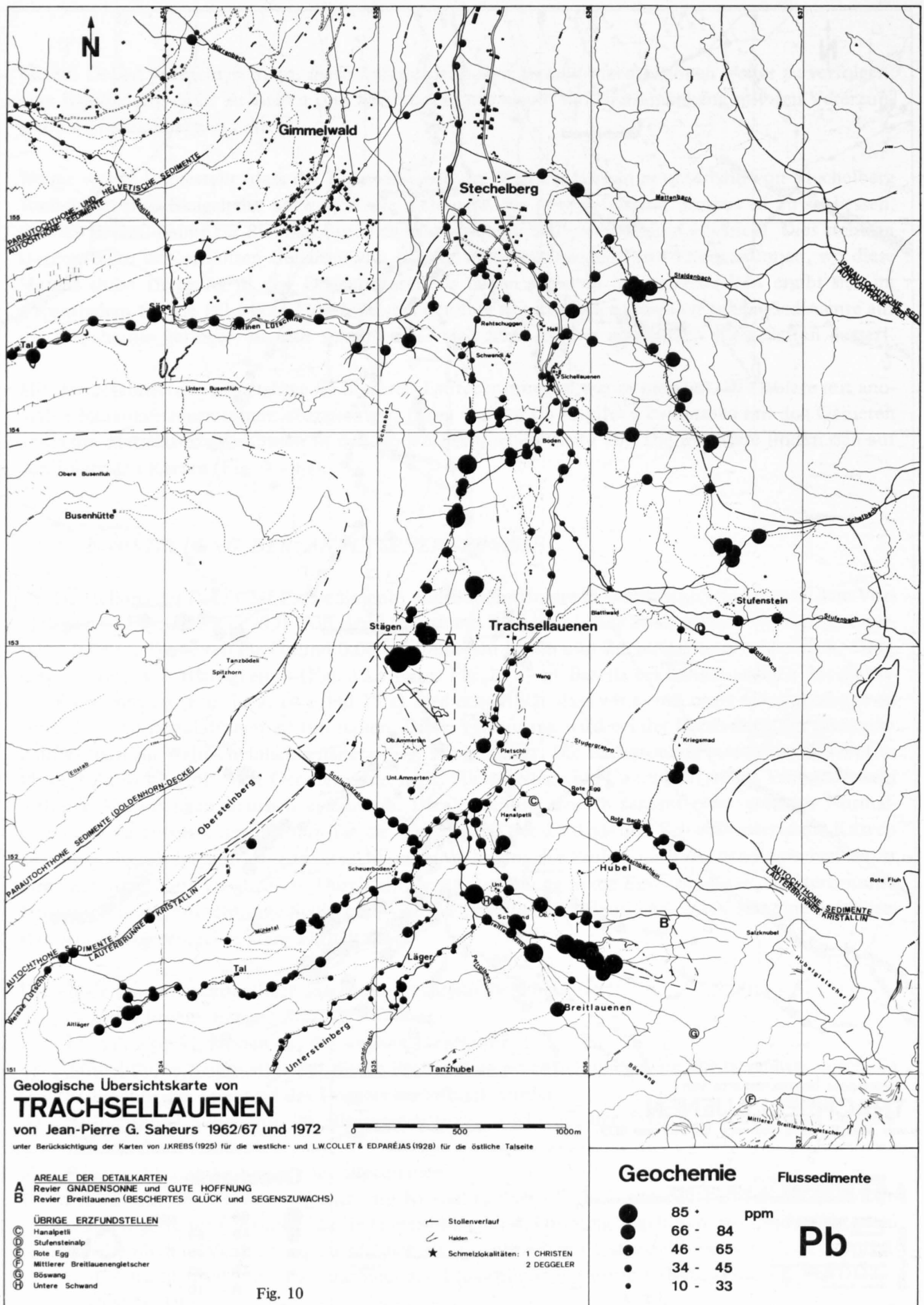


Fig. 10

Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975



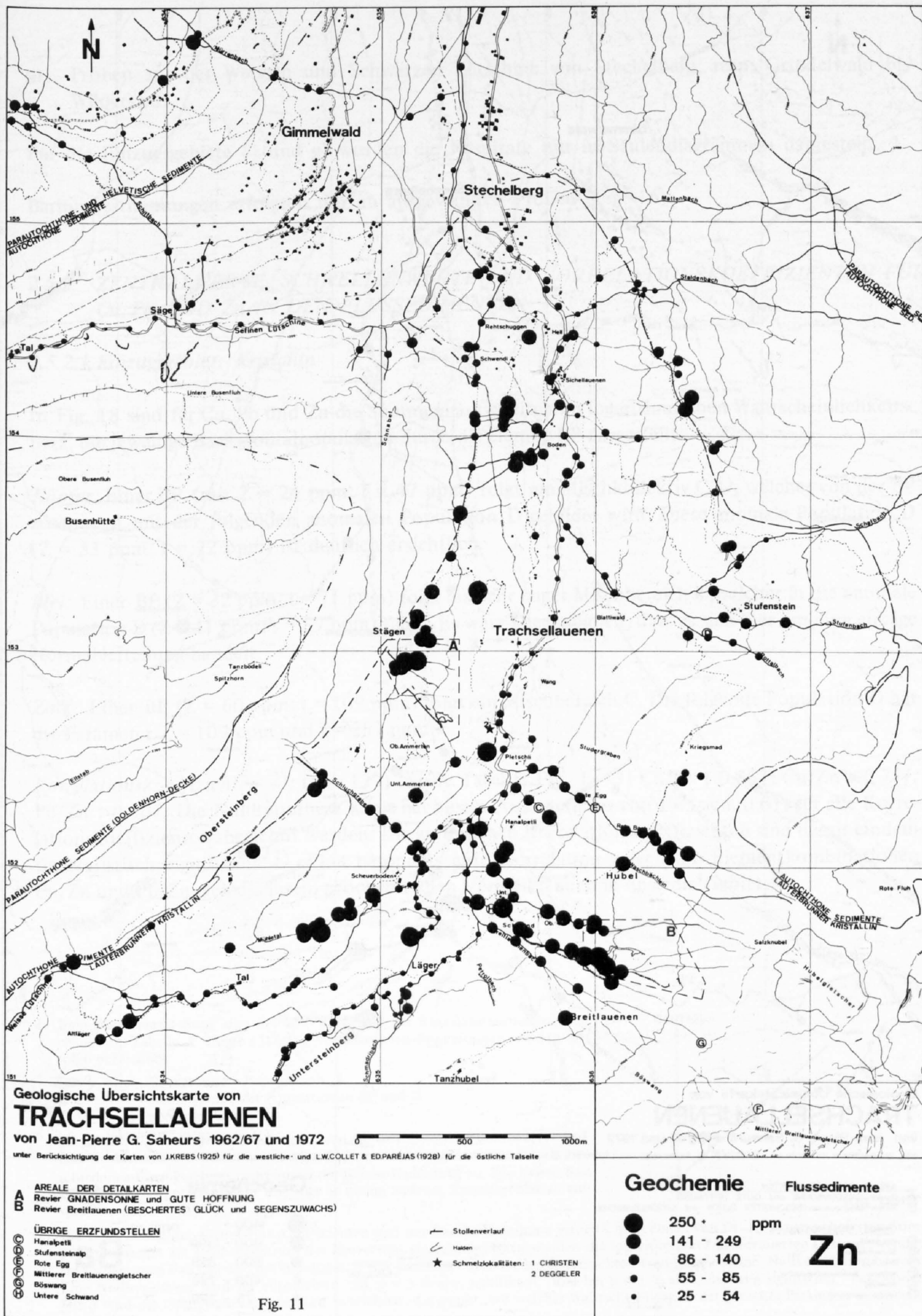
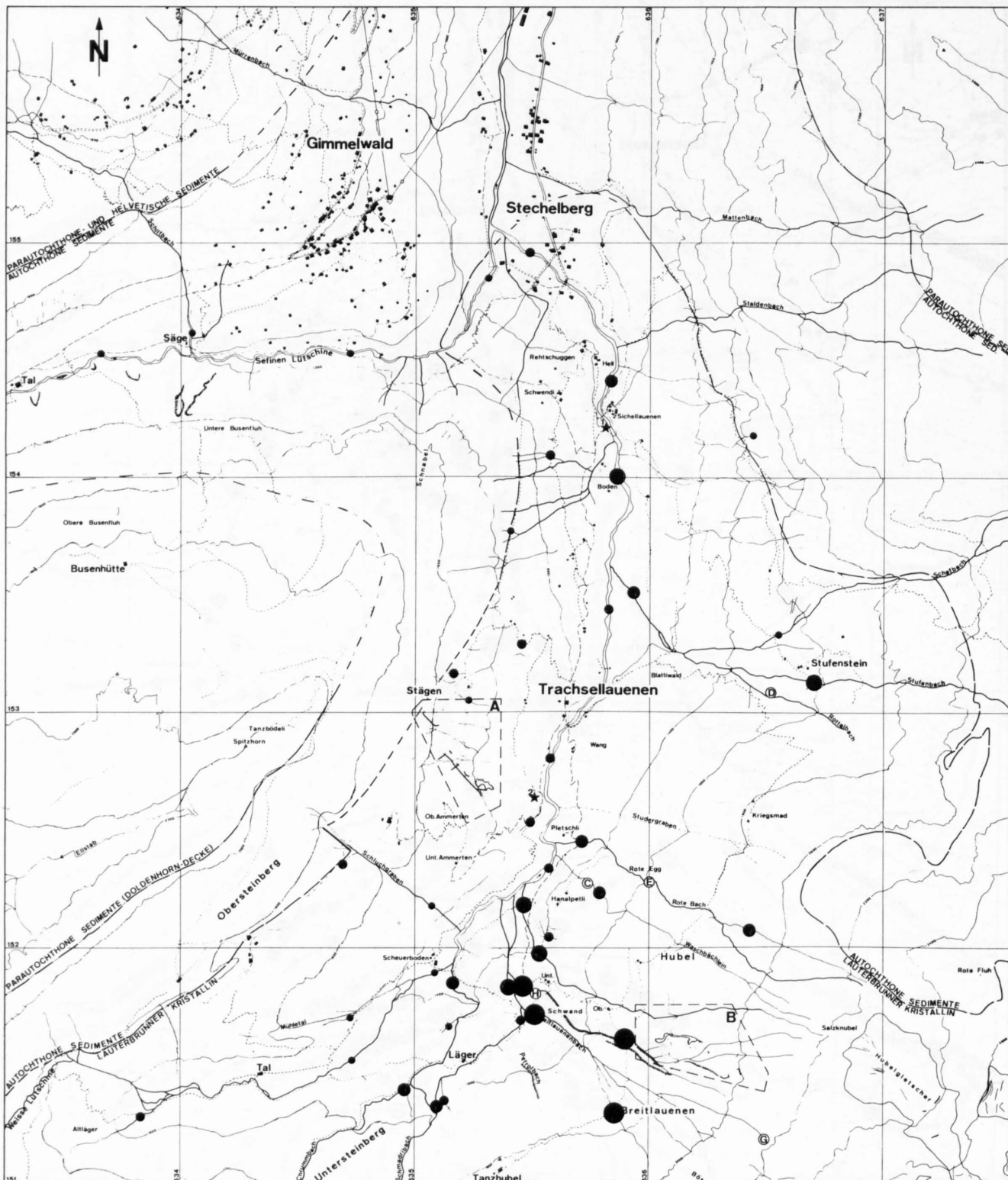


Fig. 11

Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975



# Geologische Übersichtskarte von **TRACHSELLAUENEN**

von Jean-Pierre G. Saheurs 1962/67 und 1972

unter Berücksichtigung der Karten von J.KREBS (1925) für die westliche- und L.W.COLLET & ED.PARÉJAS (1928) für die östliche Talseite

## AREALE DER DETAILKARTEN

A Revier GNADENSONNE und GUTE HOFFUNG

B Revier Breittlauenen (BESCHERTES GLÜCK und SEGENSZUWACHS)

## ÜBRIGE ERZFUNDSTELLEN

- C Halsalp
- D Stufensteinalp
- E Rote Egg
- F Mittlerer Breittlauengletscher
- G Böswang
- H Untere Schwand

Stollenverlauf

Hasen

★ Schmelzlokalitäten: 1 CHRISTEN  
2 DEGGER

## Geochemie

## Flussedimente

- 1400 + ppm
- 900 - 1399
- 800 - 899
- 400 - 799
- 75 - 399

**Ba**

Fig. 12

Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975

- g) Proben aus der Weissen und Schwarzen Lutschine von Stechelberg, resp. Grindelwald bis Wilderswil.

Für die Einzugsgebiete e) und g) wurden die Resultate nur in Säulendiagrammen dargestellt.

Bariumbestimmungen erfolgten nur an ausgewählten Proben (Fig. 16).

## 2.5.2 ZENTRALWERTE, SCHWELLENWERTE UND KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN FÜR Cu, Pb UND Zn IN DEN FLUSSEDIMENTEN

### 2.5.2.1 Einzugsgebiet: Kristallin

In Fig. 18 sind für Cu, Pb und Zn die Summenhäufigkeiten im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz, die jeweilige Backgroundpopulation durch die Gerade BP dargestellt.

**Kupfer:** Einer BP (mit  $Z = 24$  ppm;  $t = 47$  ppm) folgt ein Mischkollektiv C<sup>1)</sup>, welches von der BP zusammen mit der folgenden anomalen Population D gebildet wird. Diese anomale Population D ( $Z = 33$  ppm;  $t = 72$  ppm) ist deutlich ersichtlich.

**Blei:** Einer BP ( $Z = 32$  ppm;  $t = 71$  ppm) folgt ein sehr enger Mischbereich C, welcher in die anomale Population D ( $Z = 41$  ppm;  $t = 89$  ppm) führt. Es wäre aber möglich, dass es sich hier um eine einzige Normalverteilung handelt.

**Zink:** Einer BP ( $Z = 60$  ppm;  $t = 109$  ppm) folgt ein Mischbereich C. Die folgende Population D hat die Parameter  $Z = 109$  ppm und  $t = 257$  ppm.

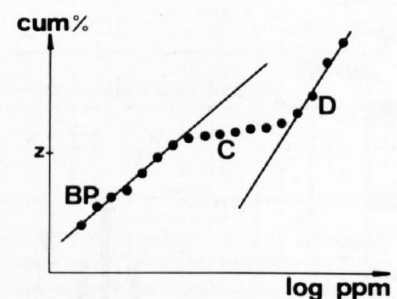
**Korrelationskoeffizienten** <sup>2)</sup>: ( $N = 139$ ) (Siehe Tafel I: Fig. 1 – 3) Cu/Pb : 0,567; Cu/Zn : 0,771; Pb/Zn : 0,807. Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) für alle Korrelationskoeffizienten abgelehnt werden. Die gefundenen Korrelationskoeffizienten sind damit eindeutig statistisch signifikant <sup>3)</sup>. Eine besonders gute Korrelation zeigen die Elementkombinationen Cu/Zn und Pb/Zn, gemäss ihrem geochemischen Verhalten auch in unserem Gebiet.

- 1) Eine Zusammenstellung aller Z- und t-Werte und der Korrelationskoeffizienten erfolgt in Tabelle 1 (Seite 51). Die verschiedenen Populationen werden wie folgt bezeichnet:

BP	=	Background - Population
C	=	Mischbereich der Populationen BP und D
D	=	anomale Population

Mit diesen angenäherten Verteilungskurven BP und D werden dann die Zentral- und Schwellenwerte berechnet. Diesen Populationen kommen aber für die verschiedenen Einzugsgebiete nicht immer die gleiche Bedeutung zu. Das heisst, dass z.B. einer D-Population nicht diejenige in einem anderen Einzugsgebiet zu entsprechen hat.

- 2) Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten und der Punktediagramme erfolgte nach einem von Dr. R. Saager gelieferten Computerprogramm am Rechenzentrum der Universität Heidelberg. Dazu wurden die logarithmisch transformierten Daten verwendet.
- 3) Im vorliegenden Fall sagt die Nullhypothese,  $p = 0$ , aus, dass zwischen den untersuchten Populationen eine Nullkorrelation besteht. Eine Nullhypothese wird im allgemeinen mit  $p = 5\%$  als „signifikant“ und bei  $p = 1\%$  als „eindeutig signifikant“ bezeichnet. Mit  $p$  wird die Grenzwahrscheinlichkeit bezeichnet, die angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit der gesuchte Parameter ausserhalb der Nutzungsgrenze liegen kann.



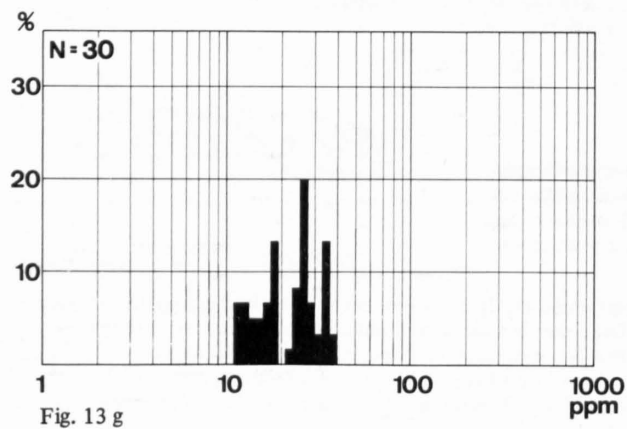
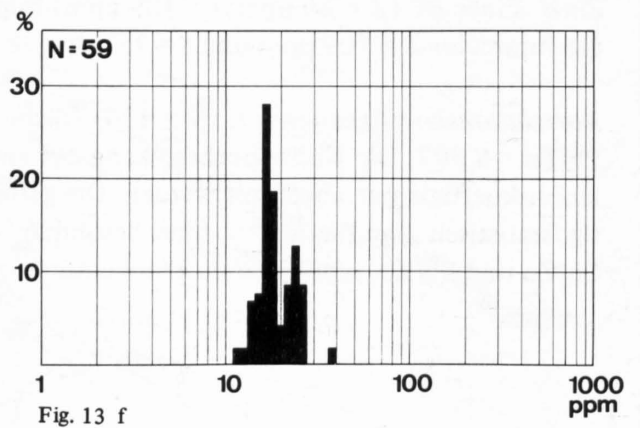
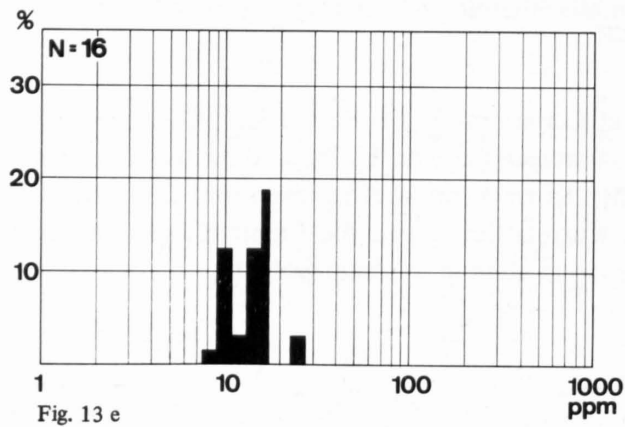
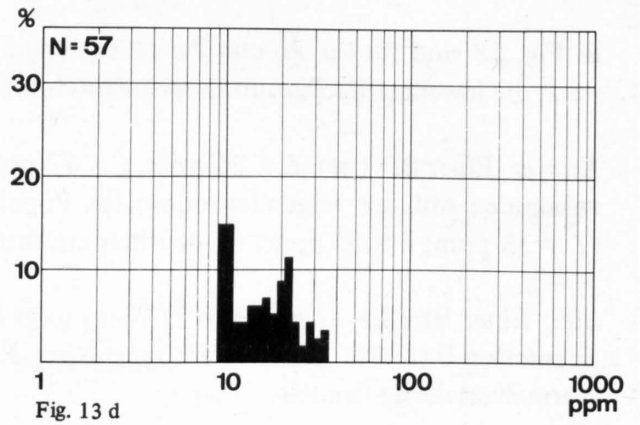
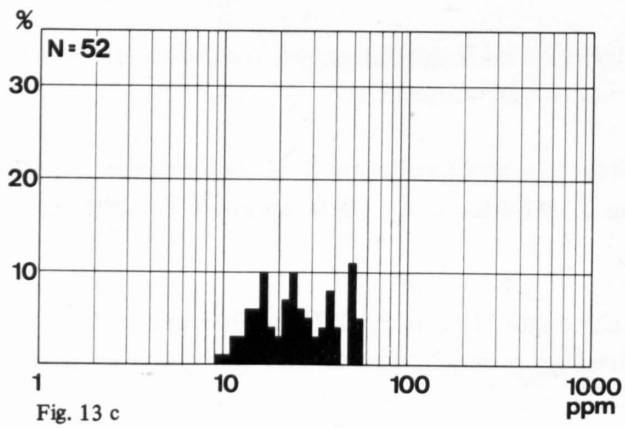
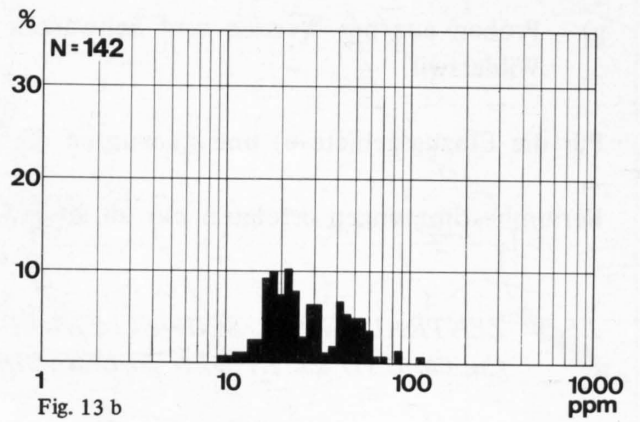
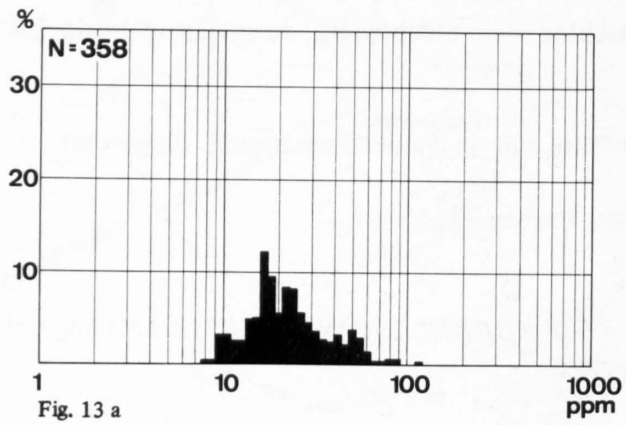


Fig. 13 a - g  
Säulendiagramme der Cu-Gehalte der Flusssedimente

a) Gesamte Probenzahl; b) Einzugsgebiet (E.G.): Kristallin;  
c) E.G.: Autochthone Sedimente (Trias und Dogger); d) E.G.:  
Autochthone Sedimente im allgemeinen (exkl. solche aus der  
Trias und dem Dogger); e) E.G.: Parautochthone Sedimente;  
f) E.G.: Weisse Lüttschne oberhalb von Stechelberg; g) E.G.:  
Proben aus der Lüttschne von Stechelberg bis Wilderswil, inkl.  
solcher aus der Schwarzen Lüttschne unterhalb von Grindelwald.



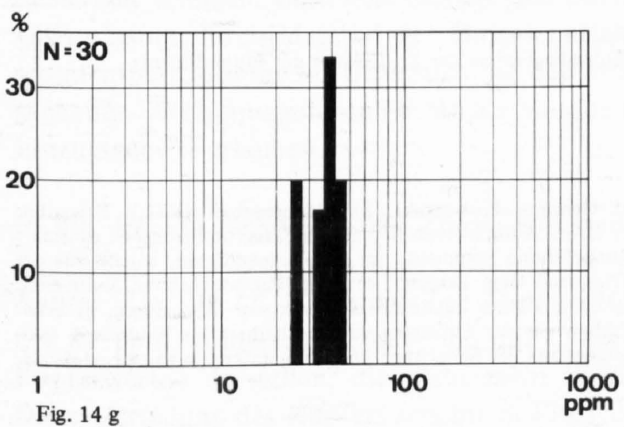
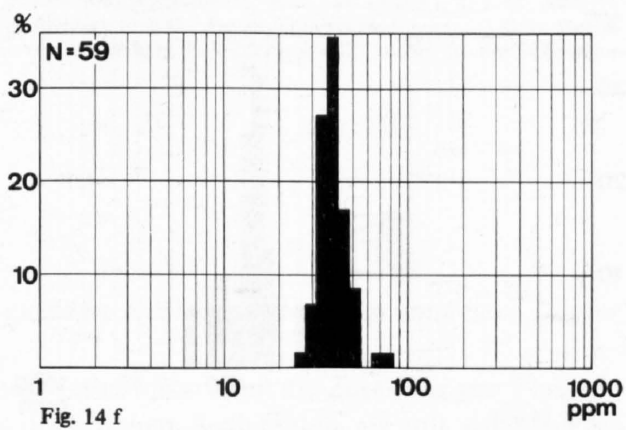
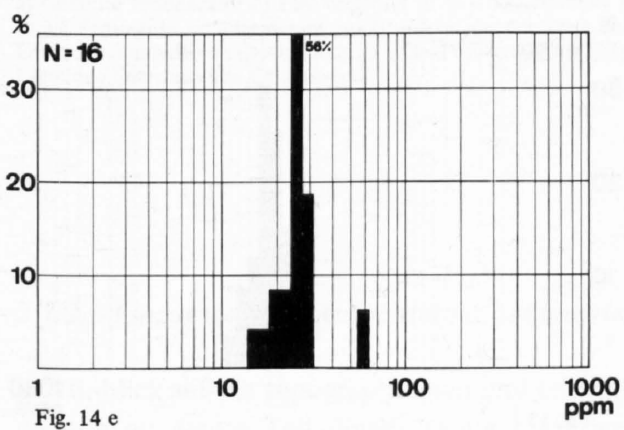
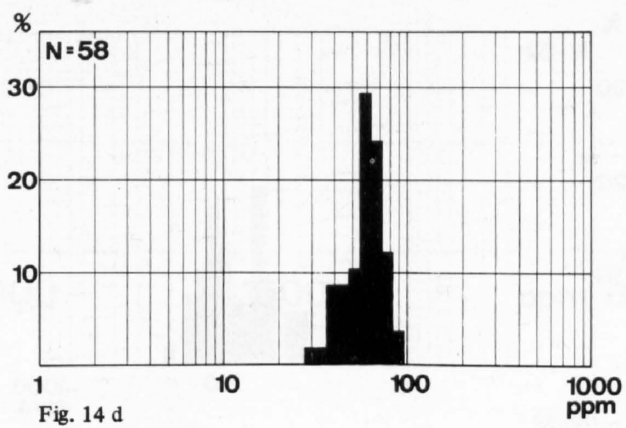
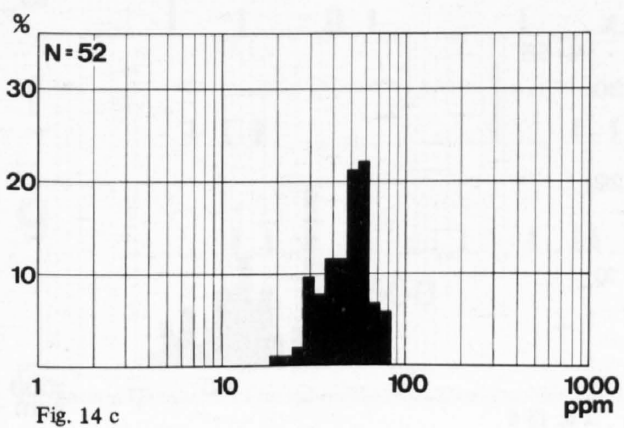
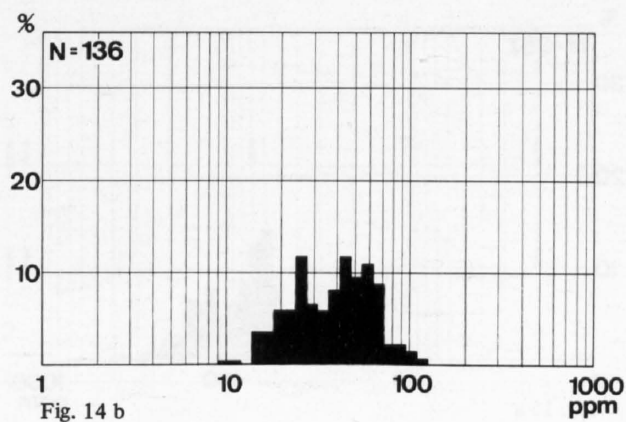
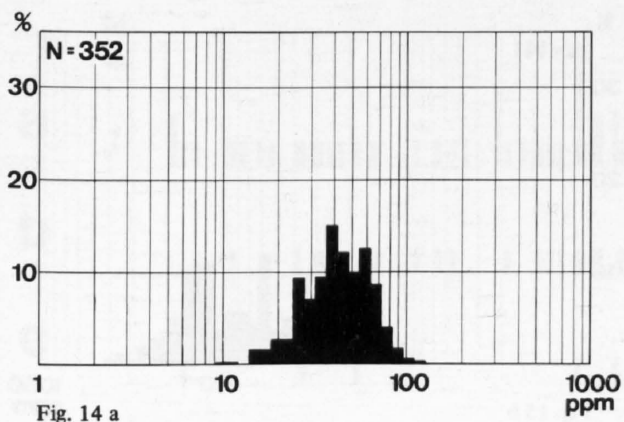


Fig. 14 a - g  
Säulendiagramme der Pb-Gehalte der Flusssedimente

a) Gesamte Probenzahl; b) Einzugsgebiet (E.G.): Kristallin;  
c) E.G.: Autochthone Sedimente (Trias und Dogger); d) E.G.:  
Autochthone Sedimente im allgemeinen (exkl. solche aus der  
Trias und dem Dogger); e) E.G.: Parautochthone Sedimente;  
f) E.G.: Weisse Lutschine oberhalb von Stechelberg; g) E.G.:  
Proben aus der Lutschine von Stechelberg bis Wilderswil, inkl.  
solcher aus der Schwarzen Lutschine unterhalb von Grindelwald.

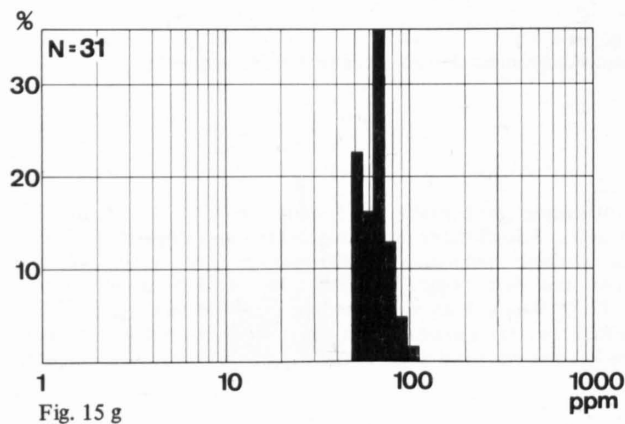
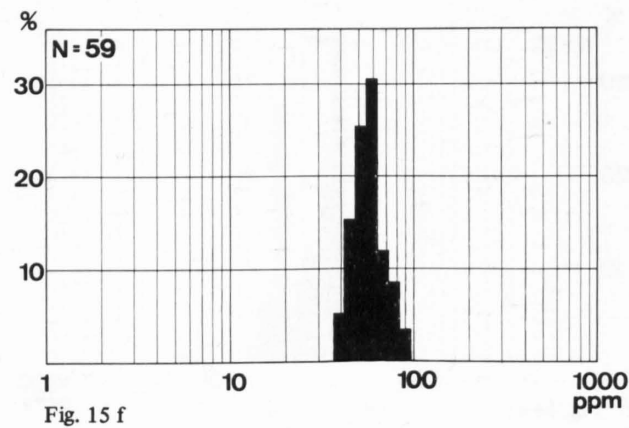
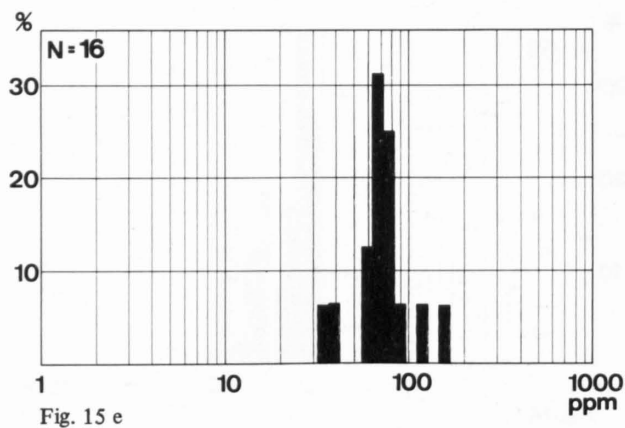
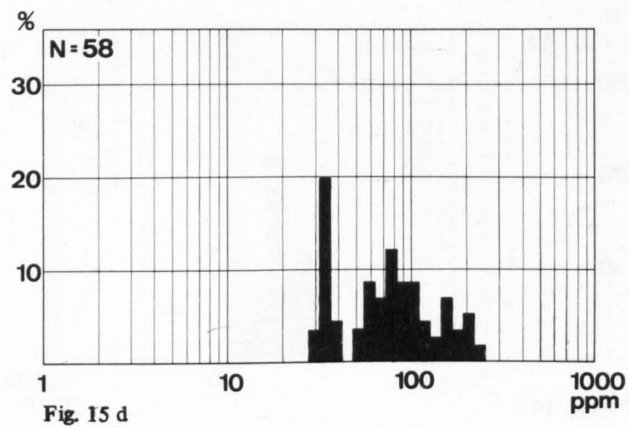
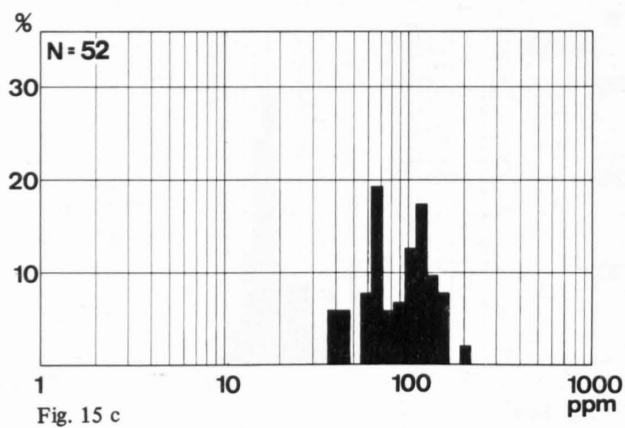
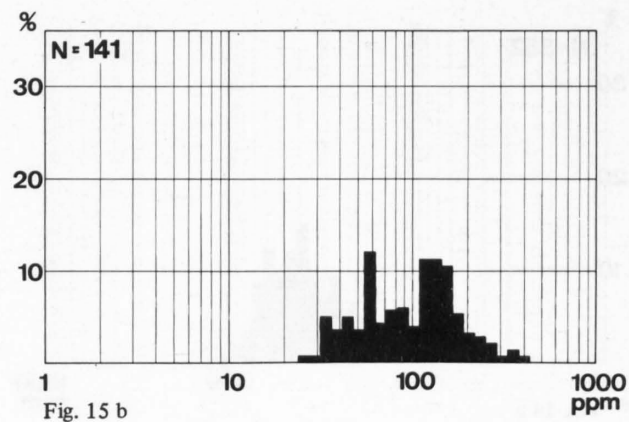
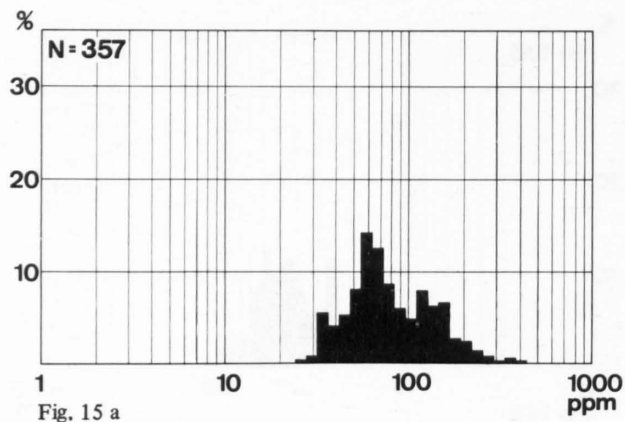


Fig. 15 a - g  
Säulendiagramme der Zn-Gehalte der Flusssedimente

a) Gesamte Probenzahl; b) Einzugsgebiet (E.G.): Kristallin; c) E.G.: Autochthone Sedimente (Trias und Dogger); d) E.G.: Autochthone Sedimente im allgemeinen (exkl. solche aus der Trias und dem Dogger); e) E.G.: Parautochthone Sedimente; f) E.G.: Weisse Lütshine oberhalb von Stechelberg; g) E.G.: Proben aus der Lütshine von Stechelberg bis Wilderswil, inkl. solcher aus der Schwarzen Lütshine unterhalb von Grindelwald.

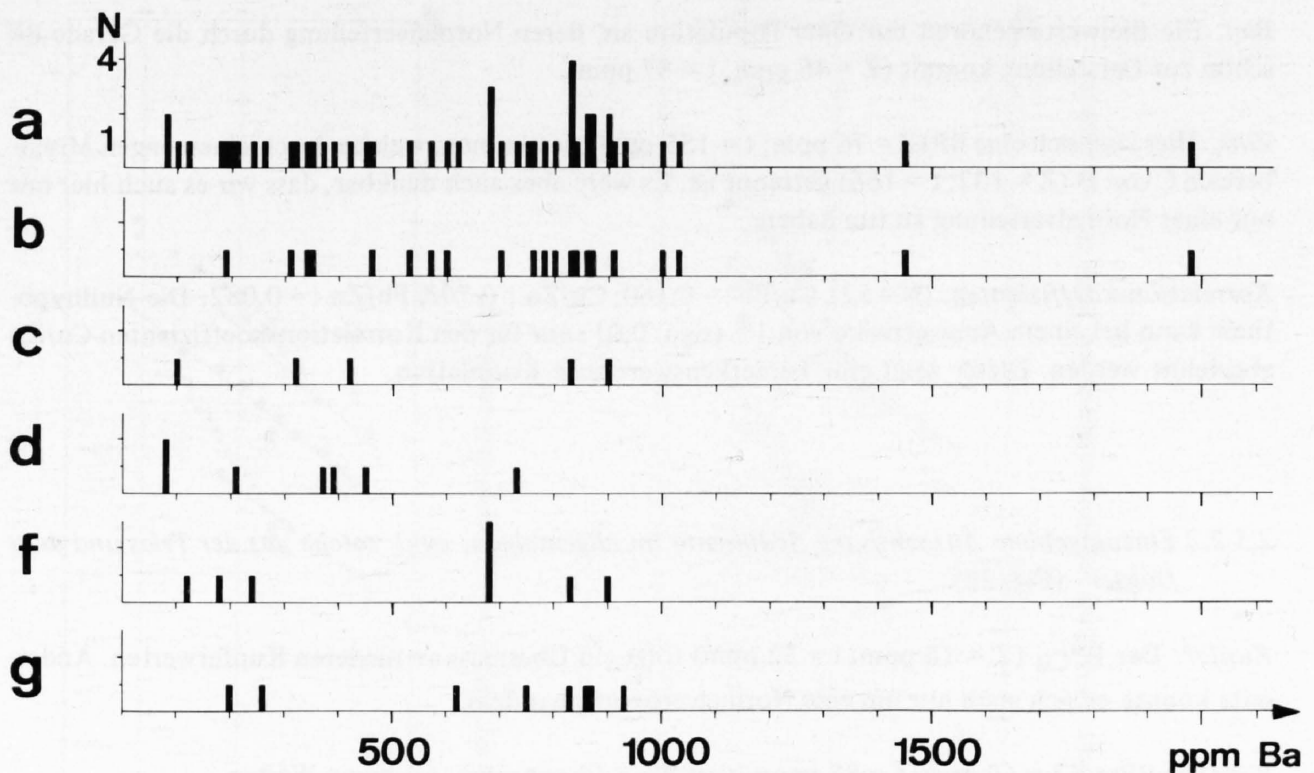


Fig. 16  
Die Barium Gehalte der Flusssedimente nach Einzugsgebiet geordnet

a) Gesamte Probenzahl; b) Einzugsgebiet (E.G.): Kristallin; c) E.G.: Autochthone Sedimente (Trias und Dogger); d) E.G.: Autochthone Sedimente im allgemeinen (exkl. solche aus der Trias und dem Dogger); e) E.G.: Parautochthone Sedimente; f) E.G.: Weisse Lütischine oberhalb von Stechelberg; g) E.G.: Proben aus der Lütischine von Stechelberg bis Wilderswil, inkl. solcher aus der Schwarzen Lütischine unterhalb von Grindelwald.

#### 2.5.2.2 Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente, besonders solche aus der Trias und dem Dogger

Im Hinblick auf die topographischen und tektonischen Verhältnisse kann die Zuteilung von Flusssedimenten zu einem Teil diesen wenig mächtigen autochthonen Sedimenten nie mit vollständiger Sicherheit erfolgen. Einerseits besteht eine Überlappung mit dem kristallinen Gebiet, andererseits eine Überprägung durch Material der übrigen, mächtigeren autochthonen Sedimente. Eine detaillierte sedimentpetrographische Untersuchung der Proben lag ausserhalb der angewandten Methodik. Ergänzende Bestimmungen von Fe, Mn u.a. würden eventuell eine schärfere Trennung der verschiedenen Einzugsgebiete erlauben.

In Fig. 19 sind für Cu, Pb und Zn die Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt.

**Kupfer:** Der BP ( $Z = 20$  ppm;  $t = 37$  ppm) folgt ein wahrscheinlicher C-Bereich mit  $Z = 24$  und  $t = 81$  ppm. Andererseits könnte die mit C bezeichnete Kurve auch nur ein Übermass an höheren Kupferwerten darstellen, die nicht mehr in die Normalverteilung gehören (LEPELTIER, 1966). Diese Verteilung des Kupfers scheint in Flusssedimenten recht häufig zu sein.

*Blei:* Die Bleiwerte gehören *nur einer* Population an, deren Normalverteilung durch die Gerade BP schön zur Darstellung kommt ( $Z = 46$  ppm;  $t = 87$  ppm).

*Zink:* Hier lässt sich eine BP ( $Z = 76$  ppm;  $t = 155$  ppm) bestimmen, welche durch einen engen Mischbereich C von D ( $Z = 102$ ;  $t = 166$ ) getrennt ist. Es wäre aber auch denkbar, dass wir es auch hier mit nur einer Normalverteilung zu tun haben.

*Korrelationskoeffizienten:* ( $N = 52$ ). Cu/Pb :  $-0,160$ ; Cu/Zn :  $0,701$ ; Pb/Zn :  $-0,082$ . Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) *nur* für den Korrelationskoeffizienten Cu/Zn abgelehnt werden. Dieser zeigt eine bemerkenswert gute Korrelation.

#### 2.5.2.3 Einzugsgebiet: *Autochthone Sedimente im allgemeinen, exkl. solche aus der Trias und dem Dogger* (Fig. 20)

*Kupfer:* Der  $BP_{Cu}$  ( $Z = 16$  ppm;  $t = 32$  ppm) folgt ein Übermass an niederen Kupferwerten. Andererseits könnte es sich auch nur um eine Normalverteilung handeln.

*Blei:* Die  $BP_{Pb}$  ( $Z = 60$  ppm;  $t = 85$  ppm) besitzt ein Übermass an niedrigen Werten.

*Zink:* Die eingepasste Population besitzt die Parameter  $Z = 72$  ppm und  $t = 234$  ppm.

*Korrelationskoeffizienten:* ( $N = 58$ ) (Siehe Tafel I: Fig. 4 – 6). Cu/Pb :  $0,133$ ; Cu/Zn :  $0,788$ ; Pb/Zn :  $-0,024$ . Wie bei den Flusssedimenten, die besonders von der Trias und dem Dogger beeinflusst wurden, kann hier die Nullhypothese bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) *nur* für den Korrelationskoeffizienten Cu/Zn abgelehnt werden. Dieser zeigt auch hier wieder eine gute Korrelation an.

Dieser Unterschied in den Zentralwerten der Bleigehalte scheint charakteristisch zu sein:

$Z_{Pb/Kristallin} = 32$  ppm;  $Z_{Pb/Autochthone\ Sedimente} = 65$  ppm  
(karbonatische Gesteine)

Dazu seien einige Beispiele aus anderen Gebieten erwähnt: DONOVAN (1965: 64 – 69) fand in einer Übersichtsprospektion in der weiteren Umgebung der in unterkarbonischen Riffkalken liegenden Pb–Zn–Lagerstätte von Tynagh (Co. Galway, Westirland) Zentralwerte für Blei um 55 ppm. KIELY & FLEMING (1969) fanden im ostirischen Karbongebiet über karbonatischen Gesteinen wiederum Werte für Blei in dieser Grössenordnung. Diesen Werten gegenüber stehen die Zentralwerte von 27 ppm Pb, die PLANT (1971) in Nordschottland über kristallinen Gesteinen feststellte. BOYLE et al. (1966) stellten in kristallinen Gebieten Ostkanadas Zentralwerte von 25 ppm Pb fest.

Diese Unterschiede wären dadurch erklärbar, dass das Pb im Lauterbrunner Kristallin <sup>1)</sup> an Silikate gebunden ist und somit bei der Verwitterung weniger leicht herausgelöst wird als bei den autochthonen Sedimenten, welche vorwiegend aus karbonatischen Gesteinen bestehen. In den letzteren

1) Im Lauterbrunner Kristallin finden sich Bleigehalte von 10 – 30 ppm (HÜGI, 1956).



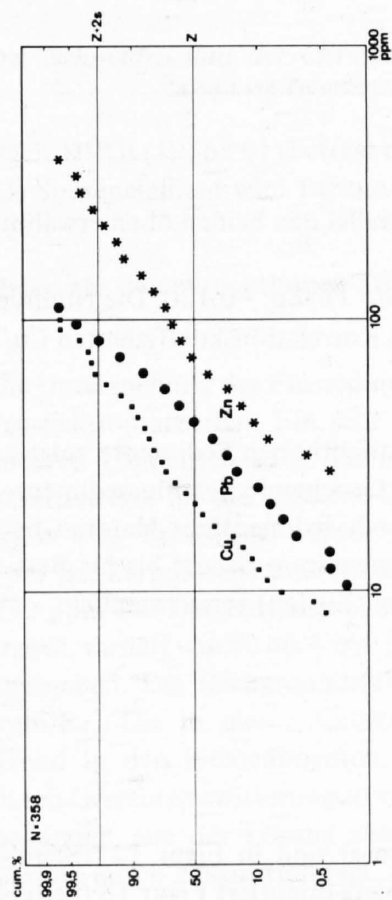


Fig. 17  
Gesamte Probenanzahl

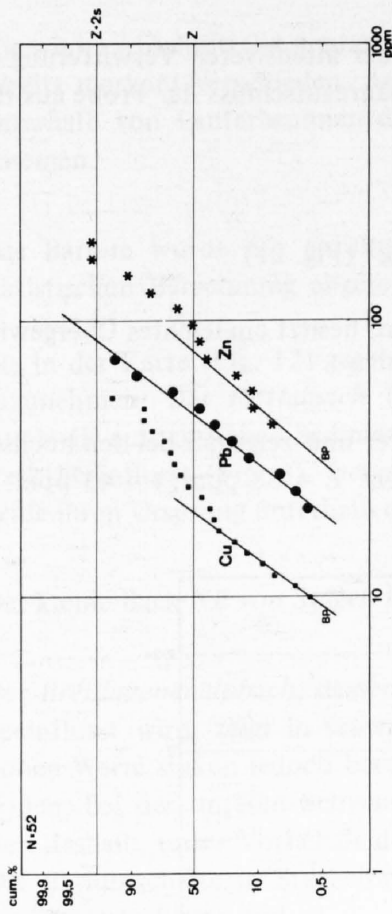


Fig. 19  
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente (Trias und Dogger)

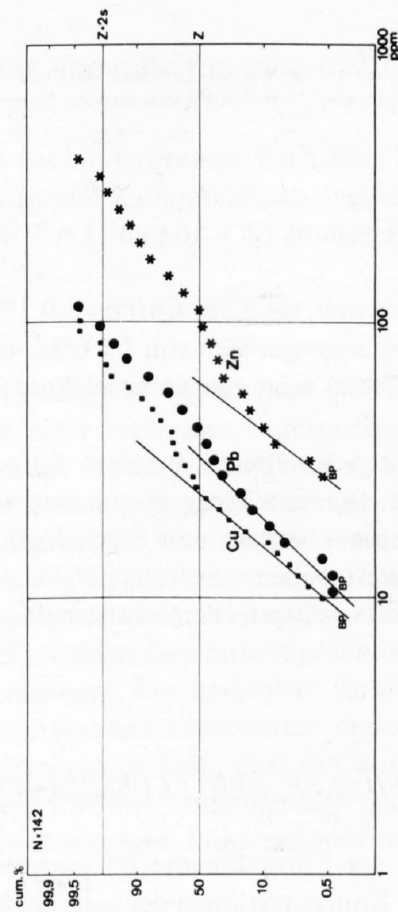


Fig. 18  
Einzugsgebiet: Kristallin

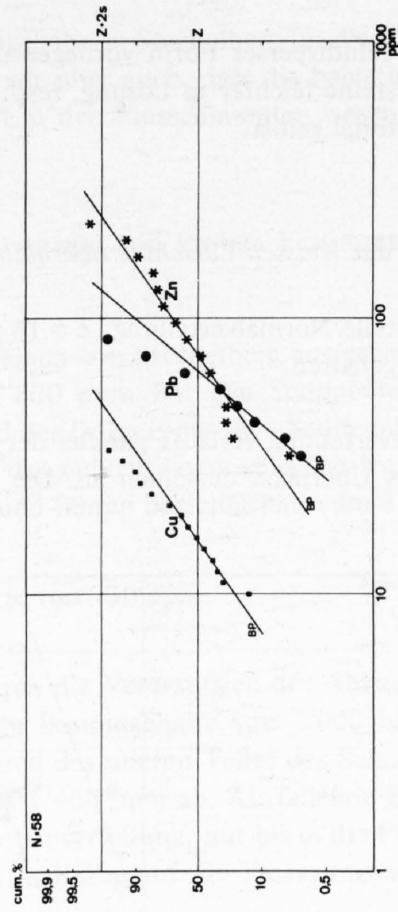


Fig. 20  
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente im allgemeinen (exkl. Trias und Dogger)

Fig. 17 - 20:  
Cu, Pb und Zn in den Flusssedimenten, Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz

dürfte das Blei in feindisperser Form vorliegen und gelangt bei der intensiveren Verwitterung der karbonatischen Gesteine leichter in Lösung, resp. es wird beim Säureaufschluss der Probe aus dem karbonatischen Material gelöst.

#### 2.5.2.4 Proben aus der Weissen Lutschine oberhalb von Stechelberg (Fig. 21)

**Kupfer:** Die sehr steile Normalverteilung ( $Z = 18$  ppm;  $t = 24$  ppm) besitzt ein leichtes Übergewicht an höheren Kupfergehalten.

**Blei:** Diese Normalverteilung verläuft parallel der Kurve für Kupfer und zeigt nur bei den höchsten Werten ein leichtes Übermass derselben an. Die Parameter lauten:  $Z = 38$  ppm;  $t = 43$  ppm Pb.

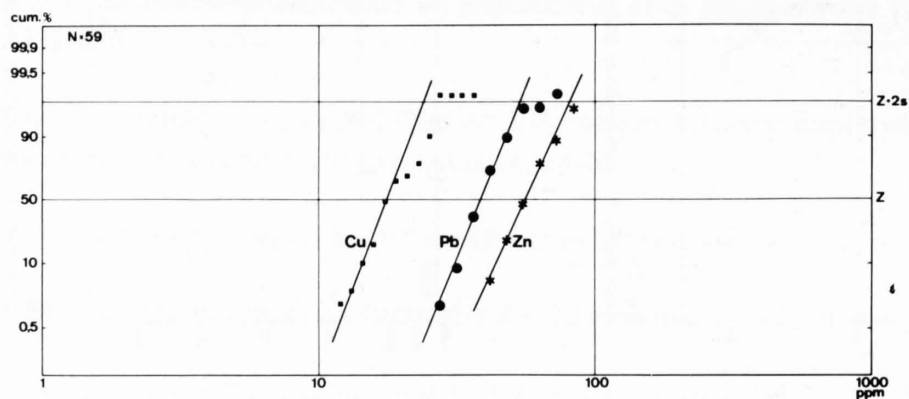


Fig. 21  
Proben aus der Weissen Lutschine oberhalb von Stechelberg.  
Cu, Pb und Zn in den Flusssedimenten, Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz.

**Zink:** Die Normalverteilung ( $Z = 56$  ppm;  $t = 81$  ppm) verläuft parallel den beiden oben erwähnten.

**Korrelationskoeffizienten:** ( $N = 59$ ) Cu/Pb :  $-0,191$ ; Cu/Zn :  $0,848$ ; Pb/Zn :  $-0,120$ . Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) *nur* für den Korrelationskoeffizienten Cu/Zn abgelehnt werden. Dieser zeigt eine ausgezeichnete Korrelation.

Ein Vergleich mit den Resultaten aus dem Einzugsgebiet der autochthonen Sedimente zeigt eine gewisse Ähnlichkeit. Daraus könnte geschlossen werden, dass die Geochemie der Flusssedimente in der Weissen Lutschine oberhalb von Stechelberg vorwiegend durch sedimentäres Material beeinflusst wird. Dafür ist vor allem die stetige Nachlieferung von sedimentärem Schutt bis ins Bett der Lutschine aus den links-seitigen Hängen oberhalb von Obersteinberg (Ellstab) verantwortlich.

#### 2.5.3 BARIUMGEHALTE DER FLUSSEDIMENTE

Die Bariumgehalte der Flusssedimente im hinteren Lauterbrunnental sind in Figur 12 (Seite 40) dargestellt; über die Konzentrationen der verschiedenen Einzugsgebiete orientiert Figur 16 (Seite 45).

Wie wir im Abschnitt 2.4.4 sahen, sind die Bariumgehalte in Stechelberg für die Flüsse der 4. Ordnung bereits markant verschieden. Andererseits sahen wir aber auch, dass die helvetischen Doggermassen unterhalb von Lauterbrunnen den Bariumgehalt in den Flusssedimenten wesentlich heraufzusetzen scheinen.

Das Barium wurde nur an einer ausgewählten Anzahl von Proben bestimmt, weshalb von einer statistischen Berechnung abgesehen wurde.

Die in der Karte (Fig. 12) gegebenen Werte scheinen von Stechelberg aus gegen Stufensteinalp hin zuzunehmen: Der *Rottalbach* führt Werte bis 800 ppm Ba! Die Sedimente dieses Baches sind durch die autochthonen Sedimente der Trias und des Doggers aus dem Sedimentkeil der Roten Fluh stark beeinflusst (Fig. 3). Der *Rote Bach* und das südlich davon gelegene *Waschbächlein* besitzen beide ihren Ursprung unterhalb der Roten Fluh und führen Bariumgehalte um 850 ppm.

Der kleine Bach *NE von Stägen* führt Bariumwerte von 730 ppm.

Der *Breitlauenenalpbach*, dessen Geochemie durch die Vererzungen des Abbaureviers Breitlauenen beeinflusst wird, zeigt in seinen Flusssedimenten Bariumgehalte von 2'000 bis 3'000 ppm. Diese hohen Werte sinken jedoch bereits beim Erreichen des oberen Teiles des Schuttkegels im Scheuerboden, bei der unteren Schwand, auf 1'000 bis 1'400 ppm ab. Auffallende Bariumgehalte finden sich deshalb, unter Vorbehalt der selektiven Probenverteilung, nur bis in die Flüsse der 3. Ordnung. Die Bariumgehalte in Stechelberg stellen daher in Bezug auf die Vererzungen bei Trachsellauenen *verschleierte Werte* dar!

Der *Schmadri-* und der *Chrummbach* weisen Bariumgehalte von rund 850 ppm auf.

Nach HÜGI (1956 : 61) beträgt der Bariumgehalt des Lauterbrunner Kristallins 1'500 bis 3'000 ppm. Als Spurenelement wird Barium bevorzugt in Biotit und Kaliumfeldspat eingebaut.

Daten aus den autochthonen Sedimenten fehlen.

Die Untersuchung der Flusssedimente auf Barium erfolgte bis heute selten im Rahmen geochemischer Prospektionsarbeiten. Ein sehr schönes Beispiel einer regionalen Untersuchung, bei welcher unter anderen Elementen auch das Barium berücksichtigt wurde, gibt BOYLE et al. (1966). Als Durchschnittswerte für die Gesteine der verschiedenen Einzugsgebiete des Bathurst-Jacquet River Distriktes in New Brunswick werden folgende Werte angegeben: Granite besitzen durchschnittlich 2'000 ppm Ba, karbonische und triassische Sedimente, wie Sandsteine, besitzen Durchschnittsgehalte von 250 ppm Ba. Der Bariumgehalt der Flusssedimente, wie in der Karte 43 - 1965 von BOYLE aufgetragen, variiert von 50 bis 4'000 ppm. Als durchschnittlicher Gesamtbackgroundwert werden 350 ppm angegeben. Die Backgroundwerte für die verschiedenen Einzugsgebiete variieren von 200 bis 500 ppm Ba. Die in diesen Gebieten bekannten sulfidischen Lagerstätten ergaben keinen anomalen Trend in den Flusssedimenten. Die Autoren vermuten deshalb, dass der Bariumgehalt der Flüsse durch Gesteinsverwitterung zu erklären sei. Barium wird von Tonmineralien und andern Siltpartikeln bevorzugt aus der Lösung absorbiert. Manganverbindungen konzentrieren besonders intensiv das Barium durch Absorption (vgl. dazu PUCHELT, 1967).

Nach PUCHELT (1967) betragen die Durchschnittswerte für jurassische Kalke in Deutschland 75 ppm Ba, für Kreidekalke 170 ppm und für Buntsandstein 600 – 800 ppm. Hohe Werte in Sandsteinen sprechen für das Auftreten von Baryt (NOLL, 1934; 589).

VON ENGELHARDT (1936) berechnete für Tonschiefer einen Mittelwert von 450 ppm Ba, für Kalke einen solchen von 90 ppm und für Sandsteine 180 ppm. PRASHNOWSKY (1957) stellte in schwarzen devonischen und bunten Schiefern des Rheinischen Schiefergebirges bis 900 ppm Ba fest.

Aus diesen oben gegebenen Daten wäre es wohl möglich, dass der Ursprung für die hohen Bariumkonzentrationen im Rottalbach, im Roten Bach und im Waschbächlein ihren Ursprung in obertriassischen oder jurassischen autochthonen Sedimenten haben könnten. Im Keuper finden wir hier z.B. bis zu 6 m mächtige schwarze Tonschiefer (Equisetenschiefer) und bis zu 15 m mächtige feinelagige, farbige Tonschiefer (Quartenschiefer). Im Dogger sind Schieferserien noch relativ häufig; im Callovien findet man die typischen Eisenoolithe (Blegioolith).

#### 2.5.4 ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE DER GEOCHEMISCHEN UNTERSUCHUNG DER FLUSSEDIMENTE

Die Unterschiede in den Zentralwerten sind beim *Kupfer* nicht auffallend. Zwischen Cu und Zn besteht statistisch gesehen in allen Einzugsgebieten eine eindeutig signifikante, positive Korrelation. Diese Elemente zeigen eine ausserordentlich gute Korrelation, besonders in den Flüssen 4. und 5. Ordnung. Flussedimente aus dem Gebiet der parautochthonen Sedimente zeigen eine schlechtere Korrelation. Die *Korrelationskoeffizienten Cu/Pb sind nur* im kristallinen Einzugsgebiet und im Einzugsgebiet aus den parautochthonen Sedimenten eindeutig signifikant. Die Korrelation ist aber nur im zuletzt erwähnten Beispiel besonders gut.

Die Zentral- und Schwellenwerte für *Blei* sind in den verschiedenen Einzugsgebieten zum Teil ausgeprägt verschieden. Pb und Zn bildet im Einzugsgebiet Kristallin und in demjenigen der parautochthonen Sedimente eine eindeutig signifikante Korrelation. Diese ist jedoch *nur* im kristallinen Einzugsgebiet besonders gut.

Bei *Zink* sind für die verschiedenen Einzugsgebiete die Zentralwerte nicht sehr, die Schwellenwerte deutlich voneinander verschieden.

Mit Hilfe der Korrelationskoeffizienten und der Beurteilung der Güte der entsprechenden Korrelation sollte es möglich sein, in einem bestimmten Einzugsgebiet die Beeinflussung aus einem anderen Einzugsgebiet festzustellen.



Tabelle 1: Zentral (Z)- und Schwellenwerte (t), Standardabweichungen (s) und Korrelationskoeffizienten für Cu, Pb und Zn in den Flusssedimenten verschiedener Einzugsgebiete.

	N	Verteilung	Cu			Pb			Zn			Korrelationskoeffizienten <sup>2)</sup>		
			Z ppm	t ppm	s <sup>1)</sup>	Z ppm	t ppm	s <sup>1)</sup>	Z ppm	t ppm	s <sup>1)</sup>	Cu/Pb	Cu/Zn	Pb/Zn
Gesamte Probenzahl	358	B	16	25	0,01	40	85	0,17	68	135	0,15	0,231	0,733	0,450
		D	17	85	0,35	—	—	—	83*	252	0,24			
Einzugsgebiet: Kristallin	142	B	24	47	0,15	32	71	0,17	60	109	0,13	0,567	0,771	0,807
		D	33	72	0,34	41	89	0,17	109	257	0,19			
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente, besonders solche aus der Trias und dem Dogger	52	B	20	37	0,13	46	87	0,14	76	155	0,16	-0,160	0,701	-0,082
		D	24*	81	0,27	—	—	—	102	166	0,11			
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente im allgemeinen, exkl. solche aus der Trias und dem Dogger	58	B	16	32	0,16	65	129	0,15	72	234	0,26	0,133	0,788	-0,024
		C	18	50	0,23	60	85	0,08	—	—	—			
Proben aus der weissen Lutschine oberhalb von Stechelberg	59	B	18	24	0,07	38	43	0,03	56	81	0,08	-0,191	0,848	-0,120
Einzugsgebiet: Parautochthone Sedimente	16		13 <sup>2)</sup>	26	0,15	26 <sup>2)</sup>	45	0,12	70 <sup>2)</sup>	145	0,15	0,741	0,593	0,644
Proben aus der weissen Lutschine unterhalb von Stechelberg und aus der schwarzen Lutschine unterhalb von Grindelwald	31		22 <sup>2)</sup>	48	0,17	35 <sup>2)</sup>	61	0,12	63 <sup>2)</sup>	91	0,08	-0,367	0,871	-0,432

N = Probenanzahl

\*) = wahrscheinlich eine Mischpopulation C

1) = Standardabweichung für logarithmisch transformierte Daten

2) = Arithmetisches Mittel ( $\bar{x}$ ) und Korrelationskoeffizienten mit dem Computerprogramm berechnet

## 3 Geochemie der Böden

### 3.1 ALLGEMEINES UND ZIELSETZUNG

Die pedogeochemische Prospektion, basierend auf der Geochemie der Böden, verfolgte zwei Ziele:

- a) Mit der Durchführung einer *Übersichtsprospektion* im hinteren Lauterbrunnental sollte festgestellt werden, ob es mit dieser Methode gelingt, Vererzungen vom Typus Trachsellauen aufzufinden. Die Probenahme kann entweder in einem orthogonalen Gitternetz regelmässig über das ganze Gebiet verteilt erfolgen (engl.: „rectilinear or square grid sampling“), in den unteren Partien der Berghänge (engl.: „base-of-slope-sampling“) oder entlang der begangenen Wege in mehr oder weniger regelmässigen Abständen (engl.: „track-soil-sampling“). Bedingt durch die topographischen Verhältnisse wurden bei diesem ersten Versuch die Proben den Pfaden entlang entnommen, in Abständen zwischen 75 und 150 m. Die Situation des hinteren Lauterbrunnentales war insofern günstig, als es sich mehr oder weniger um ein zum alpinen Streichen quer verlaufendes Tal handelt. Verschiedene Pfade verlaufen den Hängen entlang, wie z.B. der „Mürrenweg“, der von Stechelberg über Stägen nach Obersteinberg führt.
- b) Mit *Detailuntersuchungen* sollte abgeklärt werden, ob es mit Bodenprofilen möglich ist, den Verlauf von Erzgängen festzustellen. Dazu muss u.a. der minimal einzuhaltende Probenabstand in den Profilen bekannt sein.

Neben den in der Einleitung gegebenen Standardwerken über die geochemische Prospektion sei auf folgende Spezialarbeiten verwiesen: BROTZEN (1967), CACHAU-HERREILLAT (1969), CHAN (1969), ELLIS et al. (1967), ERIKSSON (1973), FORGERON (1971), FRIEDRICH & PLUGER (1971), GOVETT (1960, 1973), HYVÄRINEN (1967), MEHRTENS, TOOMS & TROUP (1973), MORRISSEY & ROMER (1973) und SOLIMAN (1971).

Für bodenkundliche Informationen siehe BREWER & SLEEMAN (1970) (diese Arbeit enthält eine ausgezeichnete Literaturzusammenstellung), FITZPATRICK (1971), GANSSEN (1965), KUBIËNA (1953), LAATSCH (1954), MÜCKENHAUSEN (1961) und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1966).

### 3.2 PROBENNAHME

Die Ausbildung der Böden ist, bedingt durch die klimatischen, topographischen und geologischen Verhältnisse, sehr verschieden. Neben Ranker (mit einem A-C<sup>1)</sup>-Profil) im kristallinen Gebiet finden wir Rendzina (A-C-Profil) im Gebiete der autochthonen Sedimente. Daneben treten alle Übergänge zwischen Braunerde (A-(B)-C-Profil) und Podsol (A-B-C-Profil) auf, d.h. podsolige Braunerde oder Podsol-Braunerde.

1) Siehe nebenstehende Seite

Im allgemeinen wurde versucht, Proben aus dem B-Horizont zu gewinnen. War dies nicht möglich, so erfolgte die Probenahme im A- oder C<sub>1</sub>-Horizont. Über die Verwendung der A-Horizonte in der Prospektion siehe BOYLE & DASS (1967).

Die Probenahme erfolgte in der Zeit von Ende August bis Ende September 1972. Für jede Probe wurden alle entsprechenden Daten, wie Datum, Farbe, Horizont, Tiefe, Hangneigung, protokolliert.

Die Probenentnahme erfolgte mit einem Spiralbohrer. In diesem steilen Gelände sind die im allgemeinen verwendeten Bodenbohrer zu lang. Aus diesem Grunde wurde ein zerlegbarer Typ verwendet, mit nach meinen Angaben hergestellten, speziell kurzen Verlängerungsstücken. Damit war eine handliche Transportmöglichkeit im Rucksack und eine dem steilen Gelände angepasste Länge gewährleistet. Andererseits ist es bei tiefgründigen Bodenbildungen ohne weiteres möglich, beliebig tief zu bohren. Aus Gewichtsgründen besteht der Griff und die Verlängerungsstücke aus Aluminium. Zum Bohren werden Spiralbohrer von 3/4" und 1 1/2" Durchmesser verwendet. Dies ermöglicht ein der jeweiligen Bodenbeschaffenheit angepasstes Arbeiten. In Gebieten mit tiefgründigem, groben Schutt war es stellenweise nicht möglich, geeignetes Probenmaterial zu beschaffen. Dieser Umstand erklärt, dass in gewissen Gebieten teilweise entlang von Wegen Proben fehlen.

Das erhaltene Probenmaterial wurde wie die Flusssedimente in wasserfeste Probensäcke verpackt und an der Luft vorgetrocknet.

### 3.3 ÜBERSICHTSPROSPEKTION (TRACK-SOIL-SAMPLING)

#### 3.3.1 DARSTELLUNG DER ANALYSENRESULTATE

Die Resultate der entlang von Wegen entnommenen Proben (track-soil-sampling) finden sich in den kartenmässigen Darstellungen von Fig. 22, 23 und 24.

Bei der Auswertung der Daten wurden die Werte der Bodenprofile nicht berücksichtigt. Diese werden im nächsten Abschnitt 3.4 behandelt.

1) Die Bezeichnung der Bodenhorizonte erfolgt nach MÜCKENHAUSEN (1961, 1962), wobei die Haupthorizonte wie folgt definiert werden:

- A = allgemein ein humoser Mineralbodenhorizont, der an der Oberfläche gebildet wurde
- (A) = A-Horizont ohne sichtbaren Humus, jedoch belebt und mit beginnender Bodenbildung
- A<sub>0</sub> = Auflage von Rohhumus oder Moder
- A<sub>1</sub> = humoser, an der Oberfläche gebildeter Mineralbodenhorizont. Der Index 1 soll nur besagen, dass der A-Horizont untergliedert ist
- A<sub>2</sub> = verarmter, gebleichter, hellgrauer (holzaschefarbener) Horizont des Podsol und podsoliger Böden. Neuerdings wird auch A<sub>e</sub> gebraucht (e von eluvial)
- A<sub>3</sub> = hellerer (gegenüber B), durch Eisenhydroxyd noch gleichmässig gefärbter (meist ocker) Verarmungshorizont
- (B) = verlehmtter Horizont zwischen dem A- und C-Horizont ohne oder ohne nennenswerte Illuviation, charakteristisch für die typische Braunerde
- B = Anreicherungshorizont, d.h. Illuvialhorizont terrestrischer Böden, wobei die Anreicherung aus Sesquioxiden, aber auch bzw. ausserdem, aus Humusstoffen bestehen kann
- C = unverändertes Gestein aus dem der Boden entstand. C<sub>1</sub> bedeutet den schwach verwitterten Übergangshorizont zum frischen Gestein, C<sub>2</sub> das frische, gänzlich unverwitterte Gestein
- G = Gley. Durch das Grundwasser gänzlich beeinflusster Horizont. Ist ein anderer Haupthorizont vom Grundwasser beeinflusst, so tritt das G zu der Bezeichnung des betreffenden Haupthorizontes, z.B. GB.

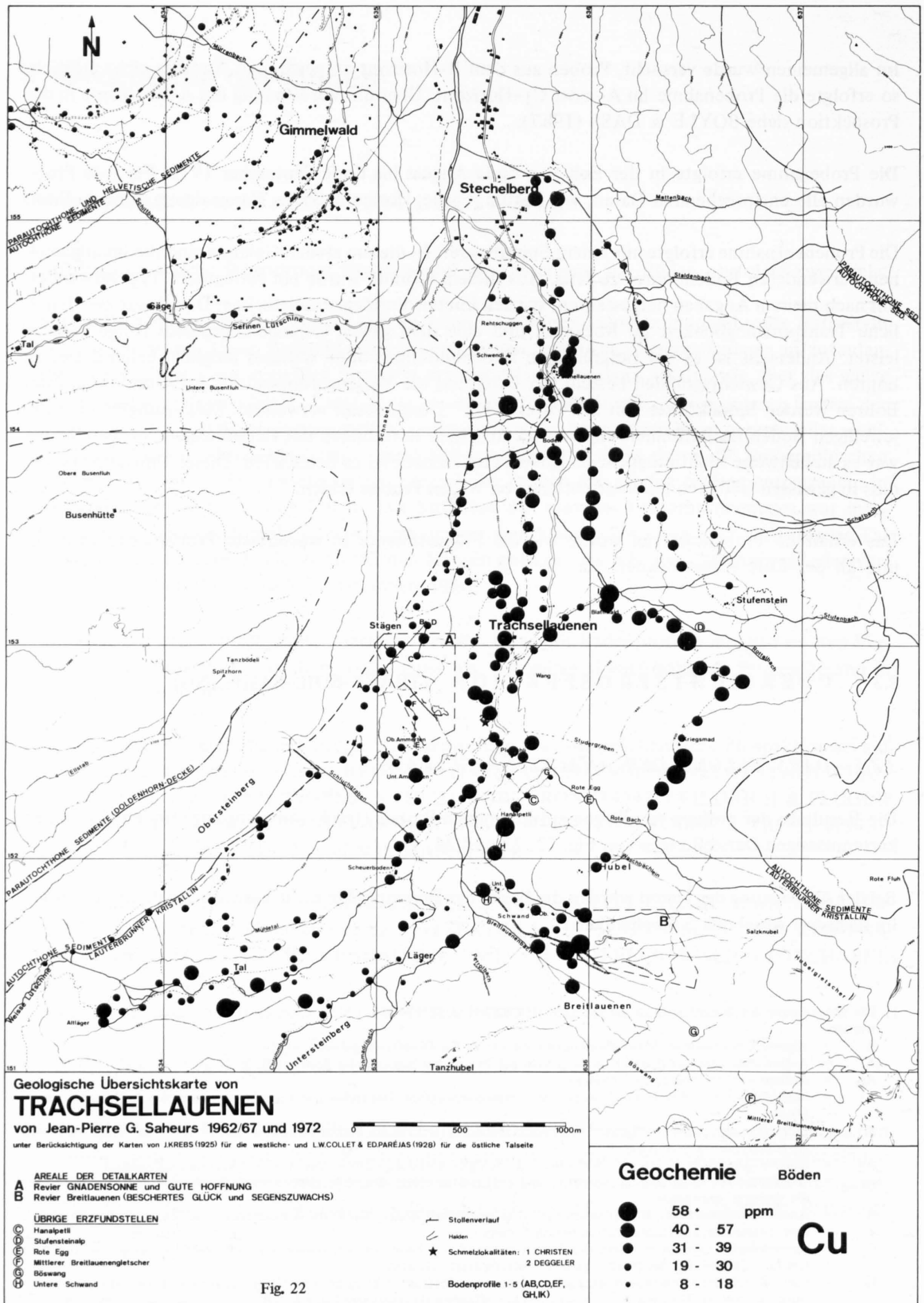
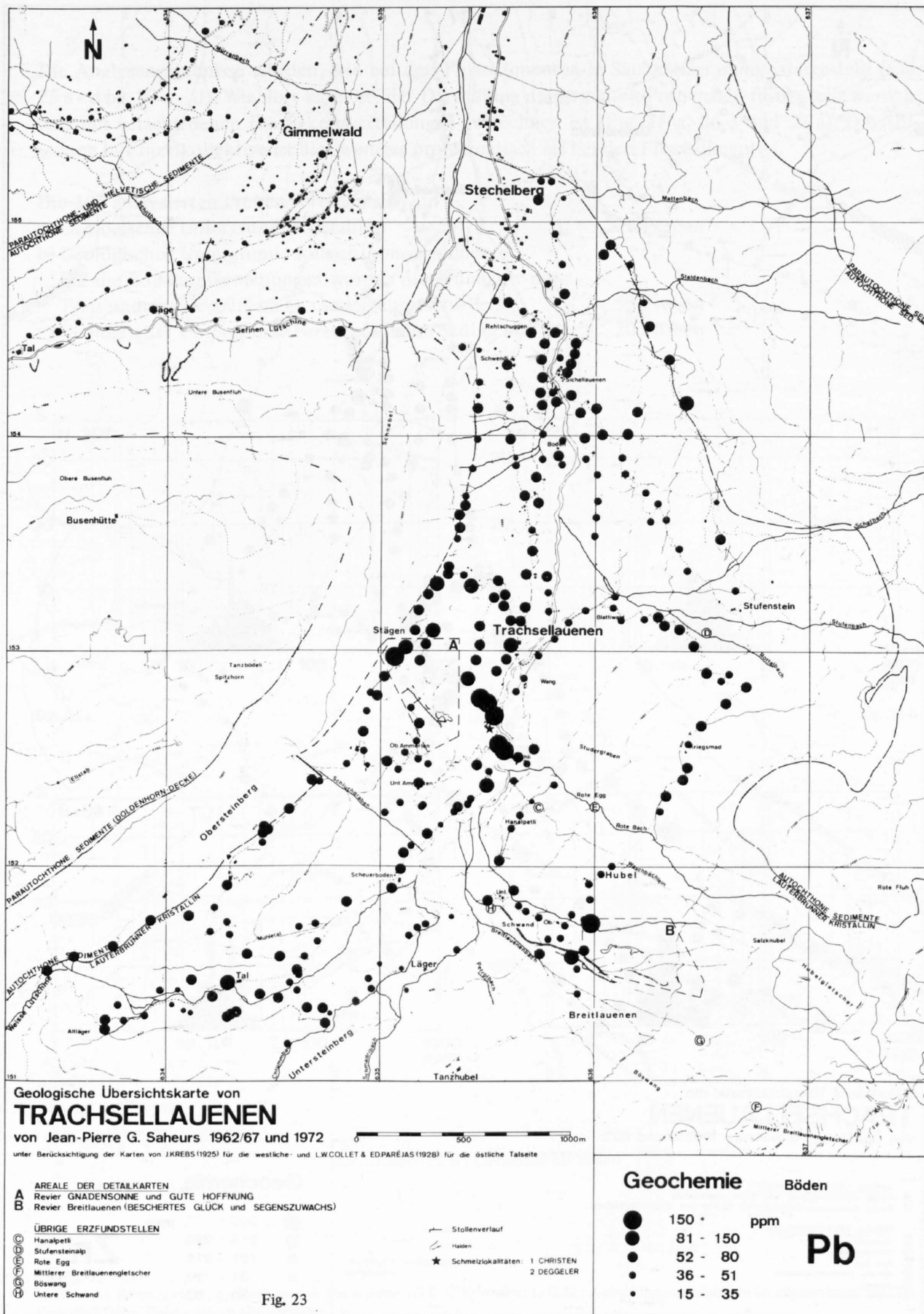


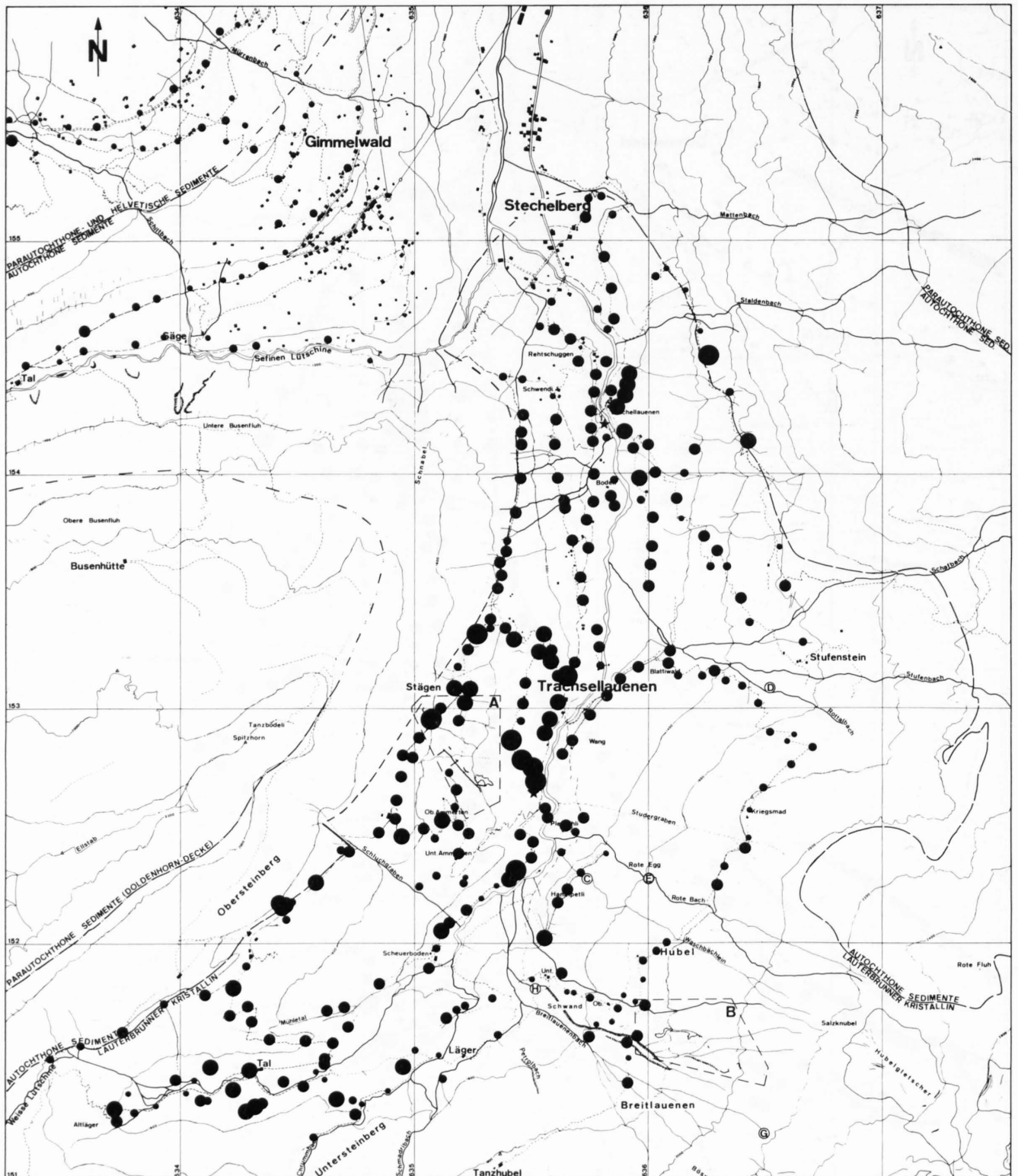
Fig. 22

Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975





Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975



# Geologische Übersichtskarte von **TRACHSELLAUENEN**

von Jean-Pierre G. Saheurs 1962/67 und 1972

unter Berücksichtigung der Karten von J.KREBS (1925) für die westliche- und L.W.COLLET & EDPARÉJAS (1928) für die östliche Talseite

**AREALE DER DETAILKARTEN**  
**A** Revier GNADENSONNE UND GUTE HOFFUNG  
**B** Revier Breittlauenen (BESCHERTES GLÜCK und SEGENSEZWACHS)

## **ÜBRIGE ERZFUNDSTELLEN**

Handalp  
 Stufensteinalp  
 Rote Egg  
 Mittlerer Breittlauengletscher  
 Böswang  
 Untere Schwand

Stollenverlauf  
 Haken  
 ★ Schmelzlokalitäten: 1 CHRISTEN  
 2 DEGGELER

## **Geochemie**

Böden

● 300 + ppm  
 ● 215 - 299  
 ● 121 - 214  
 ● 81 - 120  
 ● 30 - 80

**Zn**

Fig. 24

Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975

Die Analysenergebnisse wurden, wie bei den Flusssedimenten in Säulendiagrammen dargestellt (Fig. 25 a – d bis 27 a – d). Wie dort kann bei der Darstellung der gesamten Probenzahl festgestellt werden, dass mit verschiedenen Häufigkeitsverteilungen zu rechnen ist (Fig. 25 a, 26 a und 27 a). Die Aufteilung in Einzelkollektive ist hier weniger problematisch als bei den Flusssedimenten.

Die 307 analysierten Proben verteilen sich auf

a) Geologischer Untergrund: Kristallin

228 Proben

b) Geologischer Untergrund: Autochthone Sedimente.

Für die Bodenuntersuchungen wurden die Sedimente der  
Trias und des Doggers nicht speziell ausgeschieden

59 Proben

c) Geologischer Untergrund: Parautochthone Sedimente

20 Proben

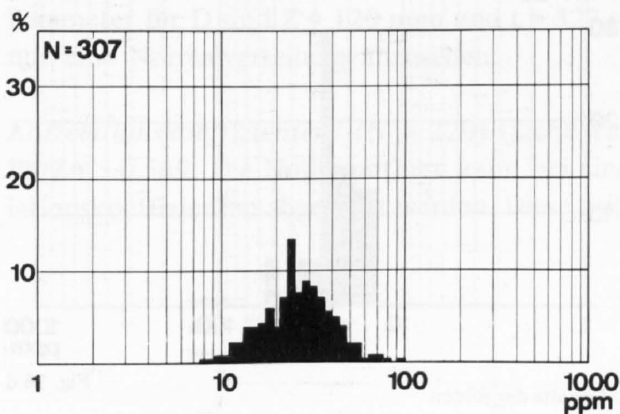


Fig. 25 a

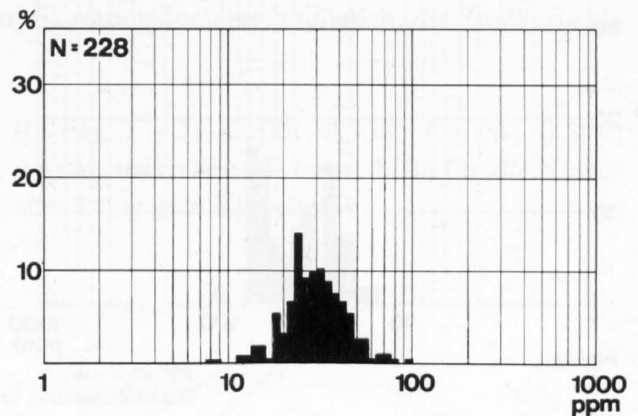


Fig. 25 b

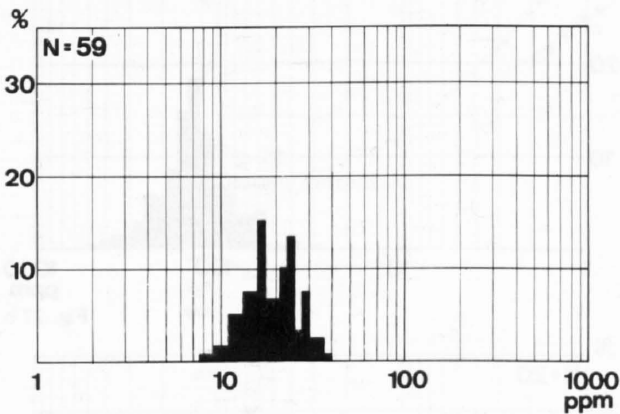


Fig. 25 c

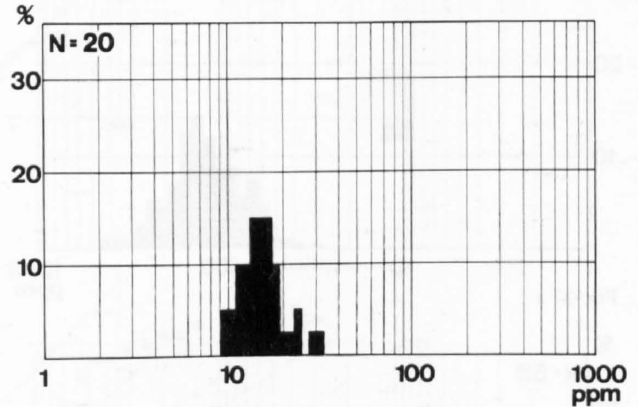


Fig. 25 d

Fig. 25 a – d  
Säulendiagramme der Cu-Gehalte der Böden

Zu Fig. 25 – 27

a) Gesamte Probenanzahl; b) Geologischer Untergrund (G.U.): Kristallin; c) G.U.: Autochthone Sedimente im allgemeinen; d) G.U.: Parautochthone Sedimente im allgemeinen.

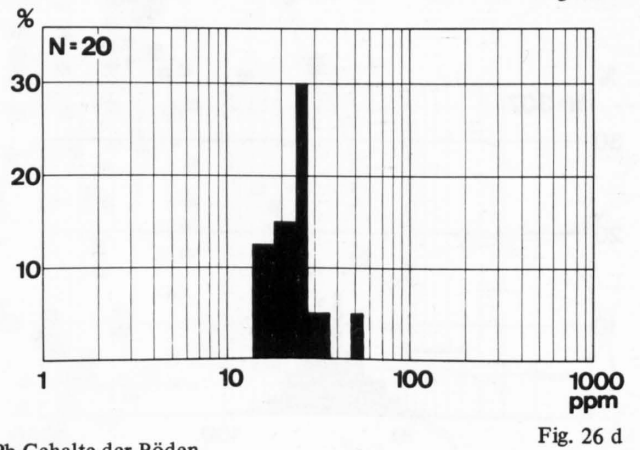
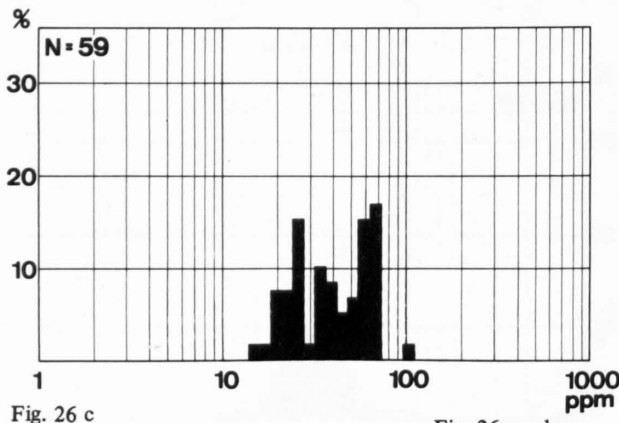
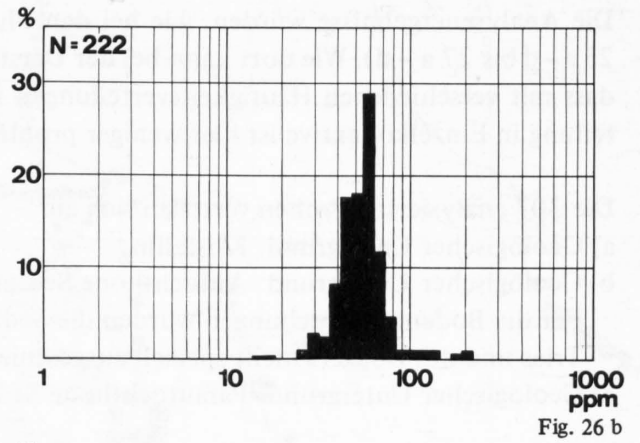
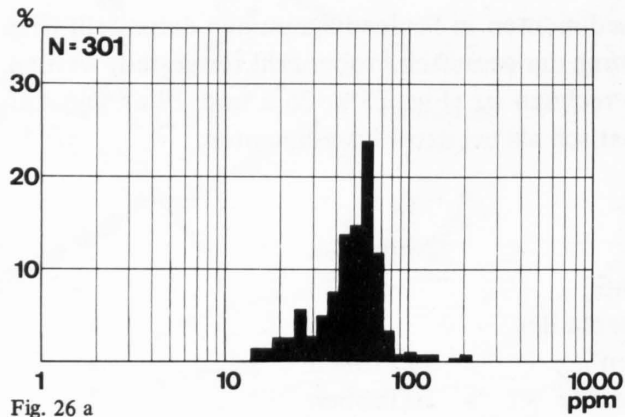


Fig. 26 a - d  
Säulendiagramme der Pb-Gehalte der Böden

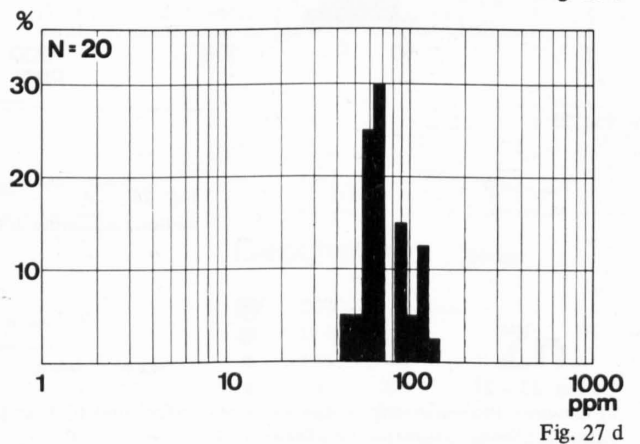
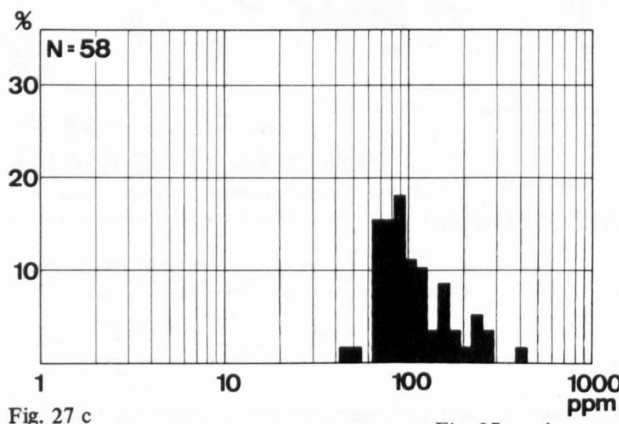
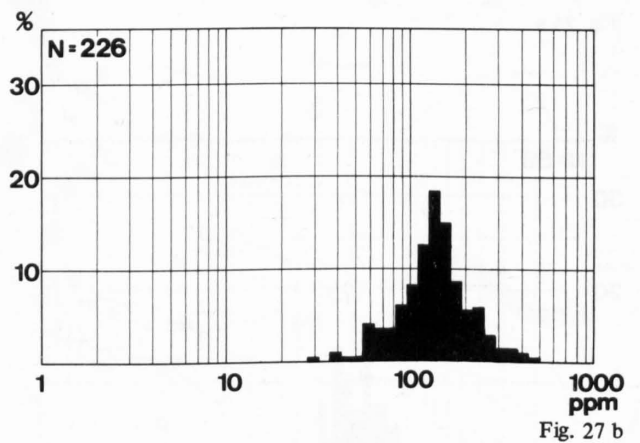
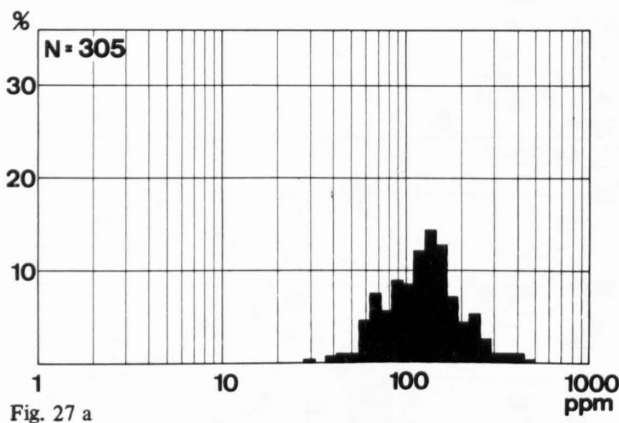


Fig. 27 a - d  
Säulendiagramme der Zn-Gehalte der Böden



### 3.3.2 ZENTRALWERTE, SCHWELLENWERTE UND KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN FÜR Cu, Pb UND Zn IN DEN BÖDEN

#### 3.3.2.1 Böden über kristallinem Untergrund (Fig. 29)

**Kupfer:** Die Verteilung dieses Metalles entspricht einer beinahe idealen Normalverteilung. Für die Bestimmung der Parameter musste nicht extrapoliert werden.  $Z = 29$  ppm;  $t = 62$  ppm.

**Blei:** Diese Normalverteilung besitzt einen  $Z$ -Wert von 53 ppm;  $t = 87$  ppm. Eine Aufteilung in eine BP-( $Z = 32$  ppm;  $t = 60$  ppm) und D-Population ( $Z = 51$  ppm;  $t = 78$  ppm) ist fraglich.

**Zink:** Die Abtrennung einer anomalen Population D ist hier schwieriger als bei den Flussedimenten, da zwischen der BP ( $Z = 162$  ppm;  $t = 550$  ppm) nur ein sehr enger Mischbereich C besteht. Die Parameter für D sind  $Z = 120$  ppm und  $t = 323$  ppm. Es wäre jedoch auch möglich, die Zn-Werte als nur eine Normalverteilung anzusehen.

**Korrelationskoeffizienten:** ( $N = 220$ ) (Siehe Tafel II : Fig. 1 – 3). Cu/Pb: 0,338; Cu/Zn: 0,394; Pb/Zn : 0,569. Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) für *alle* Korrelationskoeffizienten abgelehnt werden. Diese zeigen aber keine gute Korrelation.

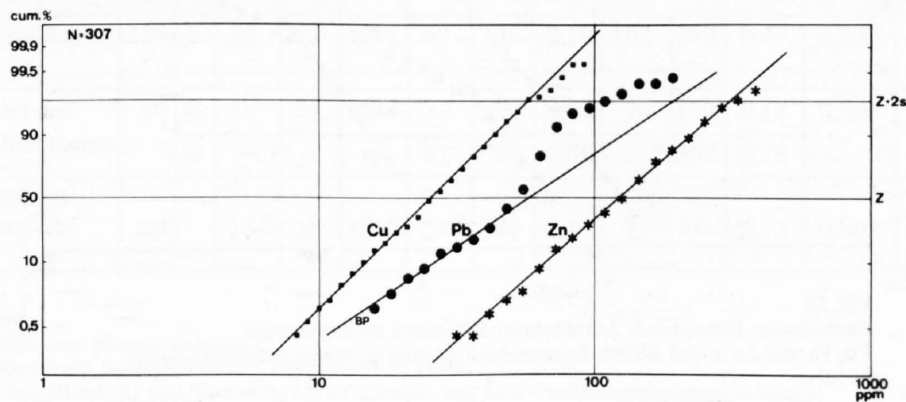


Fig. 28  
Gesamte Probenzahl

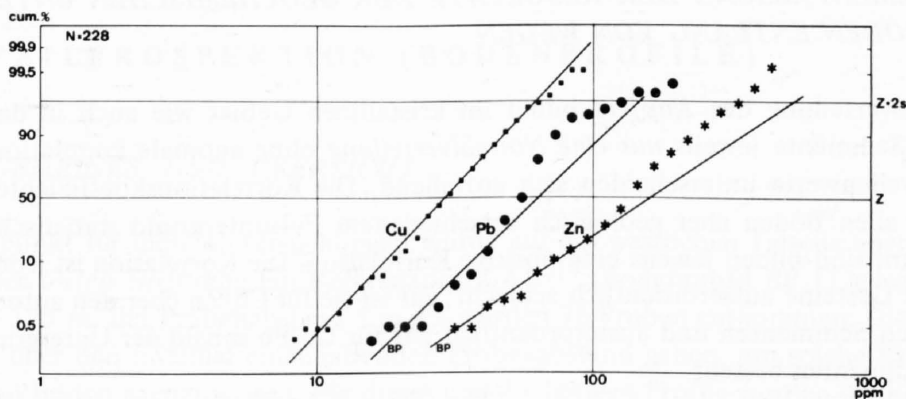


Fig. 29  
Geologischer Untergrund: Kristallin

Cu, Pb und Zn in den Böden, Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz.

### 3.3.2.2 Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente (Fig. 30)

**Kupfer** entspricht einer Normalverteilung. Für die Werte  $Z = 18$  ppm und  $t = 34$  ppm musste nicht extrapoliert werden.

**Blei:** In dieser Verteilung lassen sich zwei Normalverteilungen unterscheiden: BP ( $Z = 32$  ppm;  $t = 60$  ppm) und D ( $Z = 51$  ppm;  $t = 78$  ppm).

**Zink:** Der BP ( $Z = 96$  ppm;  $t = 170$  ppm) folgt bei höheren Werten ein Trend zu einem Übermass an höheren Werten, die nicht in die Normalverteilung fallen. Es ist fraglich, ob diese Werte als C Population ausgeschieden werden könnten.

**Korrelationskoeffizienten:** ( $N = 59$ ) (Siehe Tafel II: Fig. 4 – 6). Cu/Pb: 0,590; Cu/Zn : 0,783; Pb/Zn : 0,639. Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) für *alle* Korrelationskoeffizienten abgelehnt werden. Eine gute Korrelation zeigt aber nur Cu und Zn, bei Pb und Zn ist sie bereits schlechter.

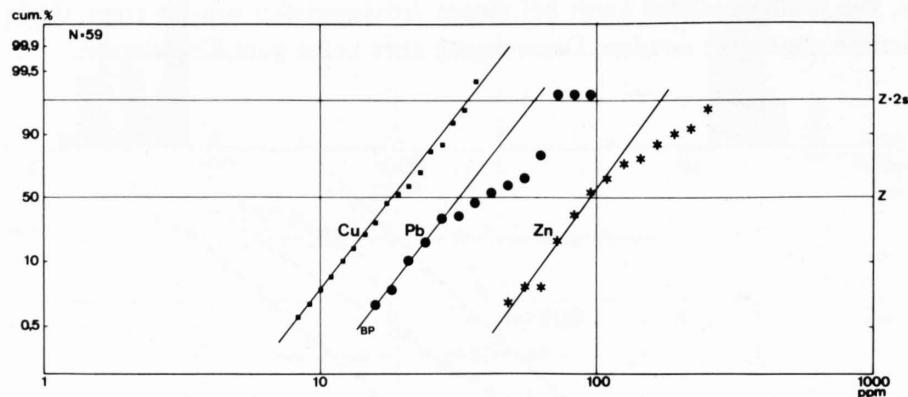


Fig. 30  
Geologischer Untergrund: Autochthone Sedimente im allgemeinen  
Cu, Pb und Zn in den Böden, Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz

### 3.3.3 ZUSAMMENFASSUNG DER RESULTATE DER GEOCHEMISCHEN UNTERSUCHUNG DER BÖDEN ENTLANG VON WEGEN

Die Häufigkeitsverteilung des *Kupfers* bildet im kristallinen Gebiet wie auch in demjenigen der autochthonen Sedimente jeweils *nur eine Normalverteilung* ohne anomale Populationen. Die Zentral- und Schwellenwerte unterscheiden sich auffallend. Die Korrelationskoeffizienten Cu/Pb und Cu/Zn sind in allen Böden über geologisch verschiedenem Felsuntergrund statistisch gesehen eindeutig signifikant und bilden jeweils eine positive Korrelation. Die Korrelation ist jedoch im Gebiet der kristallinen Gesteine ausserordentlich schlecht; gut ist sie für Cu/Zn über den autochthonen und parautochthonen Sedimenten und ausserordentlich gut für Cu/Pb sobald der Untergrund aus parautochthonen Sedimenten besteht.

Die Verteilung des *Bleis* zeigt in Böden über Kristallin und autochthonen Sedimenten jeweils eine anomale Population. Diese besitzt im kristallinen Gebiet eine recht enge Verbreitung; über autochthonen Sedimenten entspricht die Verteilung dieser D Population etwa der Background Population.

Die Zentral- und Schwellenwerte unterscheiden sich auffallend. Zwischen Pb und Zn besteht über allen drei geologisch verschiedenen Felsuntergründen statistisch gesehen eine eindeutig signifikante Korrelation. Diese ist jedoch nur über parautochthonen Sedimenten gut.

Im kristallinen Gebiet umfassen die Background- und die anomale Population D der Zink Verteilung jeweils rund 50 % der Werte. Dies deutet auf eine grosse Streuung der Zinkanomalien. Der Unterschied der Zentral- und Schwellenwerte ist in beiden lithologischen Einheiten auffallend.

Tabelle 2: Zentral (Z)- und Schwellenwerte (t), Standardabweichungen (s) und Korrelationskoeffizienten für Cu, Pb und Zn in den Böden über verschiedenen lithologischen Einheiten.

	N	Verteilung	Cu			Pb			Zn			Korrelationskoeffizienten <sup>2)</sup>		
			Z ppm	t ppm	s <sup>1)</sup>	Z ppm	t ppm	s <sup>1)</sup>	Z ppm	t ppm	s <sup>1)</sup>	Cu/Pb	Cu/Zn	Pb/Zn
Gesamte Probenzahl des „track soil sampling“, d.h. exkl. der Bodenprofile	307	B	25	58	0,18	58	190	0,26	120	310	0,21	0,579	0,558	0,650
		D	—	—	—	12	107	0,48	—	—	—			
Böden über kristallinem Untergrund	228	B	29	62	0,17	63	148	0,19	162	550	0,27	0,338	0,394	0,569
Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente	59	B	18	34	0,14	32	60	0,14	96	170	0,13	0,590	0,783	0,639
		D	—	—	—	51	78	0,09	81*	302	0,29			
Böden im Gebiet der parautochthonen Sedimente	20		15 <sup>2)</sup>	26	0,12	22 <sup>2)</sup>	42	0,14	72 <sup>2)</sup>	131	0,13	0,803	0,752	0,741

N = Probenanzahl

\*) = wahrscheinlich eine Mischpopulation C

1) = Standardabweichung für logarithmisch transformierte Daten

2) = Arithmetisches Mittel ( $\bar{x}$ ) und Korrelationskoeffizienten mit dem Computerprogramm berechnet

### 3.4 DETAILPROSPEKTION (BODENPROFILE)

#### 3.4.1 ALLGEMEINES UND ÜBERSICHT

Als Ausgangspunkt für diese Untersuchungen wurde auf der westlichen Talseite über die Blei-Zink-Barytgänge der *Guten Hoffnung* ein Referenzprofil AB <sup>1)</sup> (Bodenprofil BP 1) gelegt. Die Gesamtlänge beträgt 375 m, der Probenabstand 5 m. Es wurden 76 Proben entnommen. Dieses Profil sollte uns Angaben über den minimal einzuhaltenden Probenabstand geben, um solche Erzgänge geochemisch in diesen Böden nachzuweisen. Für dieses und die übrigen Profile wurden die Elemente Cu, Pb und Zn bestimmt.

1) Die Lage dieser Bodenprofile ist aus Figur 22, Seite 54, ersichtlich. Die Fig. 23 und 24 zeigen den Profillinienverlauf punktiert.

Da an den steilen Talhängen beiderseits von Trachsellaunen das Kristallin von helvetischen Sedimenten der autochthonen und parautochthonen Einheiten (inkl. Doldenhorndecke) überlagert wird, gelangt verschiedenerorts Sedimentschutt, besonders bei Lawinnenniedergängen, bis weit ins Tal hinab. So ist es möglich, dass das Lockermaterial untersuchter Bodenprofile über Kristallin sowohl Kristallin- als auch Sedimentkomponenten enthalten kann. Dies muss bei der Auswertung geochemischer Daten berücksichtigt werden (vgl. dazu die Situation auf Fig. 2, Seite 14).

Mit den Profilen CD (Bodenprofil BP 2 : 150 m Länge, 31 Proben) auf *Stägen* und EF (Bodenprofil BP 3 : 190 m Länge, 39 Proben) in *Ober Ammert* sollte versucht werden, in der unmittelbaren Umgebung der bekannten Vererzungen weitere Gänge nachzuweisen. Der Probenabstand betrug hier wiederum 5 m.

Die Profile GH (Bodenprofil BP 4 : 520 m Länge, 53 Proben) auf *Hanalpetli* und IK (Bodenprofil BP 5 : 700 m Länge, 71 Proben) im *Blattwald – Wang* sind Prospektionsprofile. Der Probenabstand beträgt hier jeweils 10 m.

Die Gesamtlänge der untersuchten Bodenprofile beträgt 1'935 m und es wurden 270 Proben entnommen. Die Angaben über das technische Vorgehen bei der Probenahme finden sich im Abschnitt 3.2 (Seite 52).

Die Probenahmepunkte mit dem genauen Verlauf der Profile wurden auf Flug- und terrestrischen Photographien festgehalten, so dass eine später zu erfolgende Bearbeitung der aufgefundenen Anomalien recht genau vorgenommen werden kann.

Neben den in der Einleitung gegebenen Literaturhinweisen ist für die geochemische Untersuchung der Böden in der unmittelbaren Umgebung von bekannten Vererzungen verwiesen auf: BERNSTEIN (1960), BIERTHER & DEGENS (1954), DAHM & PIETZNER (1966), FRIEDRICH (1970), FRIEDRICH & HAWKES (1966), FRUTH (1962), GINZBURG et al. (1960), HAWKES & SALMON (1960), HUFF (1952), KULMS & FRIEDRICH (1970), LOUP & WOODTLI (1965 a, b), SONDAG et al. (1973) u.a.

### 3.4.2 BESCHREIBUNG UND DISKUSSION DER EINZELNEN PROFILE

#### 3.4.2.1 Bodenprofil BP 1 : Gute Hoffnung

Dieses Profil über Gehängeschuttboden verläuft von SW nach NE, d.h. mehr oder weniger senkrecht zu den beiden im Bergwerk GUTE HOFFNUNG aufgeschlossenen Pb–Zn–Barytgängen. Die Mächtigkeit dieser Gänge schwankt um 50 cm. Das Profil beginnt beim Punkt A (Koordinaten: 634'950/152'790) und verläuft schräg hangabwärts zum Punkt B (Koordinaten: 635'220/153'090). Die Metrierung beginnt beim Punkt A, bei m 170 wird die Gangzone gekreuzt.

Die Resultate der Cu-, Pb - und Zn-Gehalte finden sich in Fig. 31.

Die durch die Erzgänge im Boden verursachten anomalen Metallkonzentrationen kommen in dieser Darstellung sehr gut zur Geltung. Etwas hangaufwärts des Ganges, bei m 147 erscheint eine kleine,



auffallende Anomalie, welche die in der Nähe der Vererzung höchsten Kupfergehalte von 36 ppm aufweist. Parallel dazu verläuft auch eine Zunahme der Pb- (bis 105 ppm) und der Zn-Werte (bis 230 ppm). Sie könnte sehr wohl durch eine mineralisierte Kluftfläche oder eine schmale Erzader unter Gehängeschuttboden bewirkt worden sein.

Der lokale Schwellenwert kann aus der Figur 31 für Cu mit 25 ppm, für Pb mit 70 ppm und für Zn mit rund 180 ppm angenommen werden. Diese Werte stehen in einem auffälligen Gegensatz zu den für das kristalline Gebiet weiter oben bestimmten regionalen Schwellenwerte: Diese betragen für Cu 62 ppm, für Pb 148 ppm und für Zn über 500 ppm (vgl. dazu Tab. 2 auf Seite 61). Nach HAWKES & WEBB (1962 : 27) ist der lokale Schwellenwert im allgemeinen höher als der regionale (vgl. GRANIER, 1973). Solche Verhältnisse gelten für Gebiete mit weniger extremer Topographie. Unsere lokalen Schwellenwerte sind aber *niedriger* als die regionalen Werte. Ein Vergleich mit den entsprechenden regionalen Werte für das Gebiet der autochthonen Sedimente ( $t_{Cu} = 34$  ppm;  $t_{Pb} = 60$  ppm;  $t_{Zn} = 170$  ppm) führt zum Schluss, dass dieses Gebiet in extremer Hanglage (Fig. 2, Seite 14) durch Geröll, wie auch durch die hydrographischen Verhältnisse, von dem hangaufwärts liegenden Gebiet der autochthonen Sedimente beeinflusst worden ist („geochemische Verdünnung“).

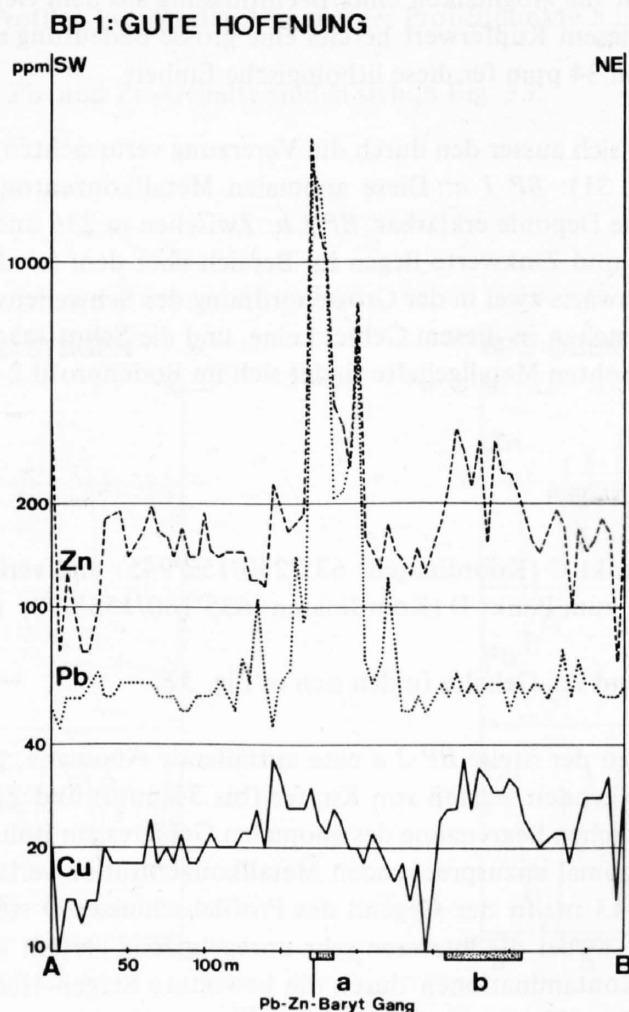


Fig. 31  
Cu-, Pb- und Zn-Gehalte der Böden im Profil Gute Hoffnung

### Korrelationskoeffizienten:

	Cu/Pb	Cu/Zn	Pb/Zn
Bodenprofil BP 1	0,128	0,743	0,377
Böden über kristallinem Untergrund	0,338	0,394	0,569
Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente	0,590	0,783	0,639

Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) *nur* für Cu/Zn und Pb/Zn abgelehnt werden. Eine gute Korrelation zeigt aber *nur* Cu und Zn. Durch ein Referenzprofil im Abbaurevier Breitlauenen (wo die Beeinflussung durch autochthones Material vernachlässigt werden kann) wird zu prüfen sein, ob mit Hilfe der Korrelationskoeffizienten der geochemische Einfluss aus dem Gebiet der autochthonen Sedimente erfasst werden kann.

Diese Resultate zeigen, dass man bei der Betrachtung der regionalen Werte unbedingt abklären muss, inwieweit Metallgehalte in Böden über Kristallin durch diejenigen der beigemengten Sedimentanteile beeinflusst sind (siehe Seite 62). In der praktischen Anwendung bedeutet das: In den Böden über kristallinem Gebiet kommt einem Kupferwert von 40 ppm noch keine grosse Bedeutung zu, da er nicht im Bereiche des Schwellenwertes, sondern nur über dem Zentralwert von 29 ppm liegt. Besteht nun aber für diese Lokalität die Möglichkeit einer Beeinflussung aus dem Gebiete der autochthonen Sedimente, dann kommt diesem Kupferwert bereits eine grosse Bedeutung zu. Er liegt dann bereits über dem Schwellenwert von 34 ppm für diese lithologische Einheit.

In diesem Profil BP 1 lassen sich ausser den durch die Vererzung verursachten Anomalien noch deren zwei feststellen (siehe Fig. 31): *BP 1 a*: Diese anomalen Metallkonzentrationen sind durch eine kleine, hangabwärts liegende Deponie erklärbar. *BP 1 b*: Zwischen m 235 und m 260 tritt eine Zinkanomalie auf. Die Kupfer- und Zinkwerte liegen im Bereich über dem lokalen Schwellenwert. Das Blei bildet nur etwas hangabwärts zwei in der Grössenordnung des Schwellenwertes liegende isolierte Anomalien. Aufschlüsse bestehen in diesem Gebiet keine, und die Schuttmächtigkeit ist unbekannt. Eine Erklärung für diese erhöhten Metallgehalte findet sich im Bodenprofil 2 (siehe unten).

#### 3.4.2.2 Bodenprofil BP 2 : Stägen

Das Profil beginnt beim Punkt C (Koordinaten: 635'230/152'945) und verläuft von hier in nördlicher Richtung hangparallel zum Punkt D (Koordinaten: 635'180/153'090) neben der Stägenhütte.

Die Resultate der Cu-, Pb und Zn-Gehalte finden sich in Fig. 32.

In diesem Profil erscheint an der Stelle *BP 2 a* eine auffallende Anomalie, gebildet von bedeutend über dem Schwellenwert liegenden Werten von Kupfer (bis 34 ppm) und Zink (bis 310 ppm). Für Blei erscheint nur an der südlichen Begrenzung des anomalen Gebietes ein isolierter Wert von 80 ppm. Das Gebiet mit einer als anomal anzusprechenden Metallkonzentration verläuft von m 47 bis m 90, d.h. über eine Länge von 43 m. In der Gegend des Profilabschlusses D steigen die Werte für Blei und Kupfer sehr stark an, wobei die letzteren sehr unregelmässig verteilt sind. Diese Erscheinung könnte durch eventuelle Kontaminationen durch die bewohnte Stägen-Hütte erklärt werden. Was nun die Anomalie BP 2 a betrifft, so scheint diese eine andere Ursache zu haben. Diese Anomalie zeigt eine ausgesprochene Ähnlichkeit mit derjenigen von BP 1 b. Verbindet man überdies die Schwerpunkte dieser beiden Anomalien (Fig. 31 und 32), so ergibt sich eine ungefähr von Ost nach

West streichende Richtung. Als Ursprung für diese beiden Anomalien könnte ein nicht aufgeschlossener Gang in Frage kommen. Andererseits könnte es sich auch nur um eine Schieferungszone handeln, entlang der die Metalle migrierten. Die Breite der Zone lässt aber vermuten, dass es sich eher um einen unbekannten Erzgang handeln dürfte. Ein Schurf könnte weitere Anhaltspunkte liefern.

Die Korrelationskoeffizienten für dieses Profil lauten: Cu/Pb : 0,578; Cu/Zn : 0,864; Pb/Zn : 0,492.

Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) für *alle* Korrelationskoeffizienten abgelehnt werden. Eine ausgezeichnete Korrelation findet sich aber nur für Cu/Zn.

### 3.4.2.3 Bodenprofil BP 3 : Ober Ammert

Vom Punkt E (Koordinaten: 635'175/152'520), am Weg von Trachsellauen nach dem Hotel Tschingelhorn – Obersteinberg, verläuft dieses Profil hangparallel in ungefähr nördlicher Richtung zum Punkt F (Koordinaten: 635'145/152'725) an der südlichen Begrenzung des „Krachens“. Wie in den beiden vorderen Profilen beträgt der Abstand der Probenpunkte 5 m.

Die Resultate der Cu-, Pb- und Zn-Gehalte finden sich in Fig. 33.

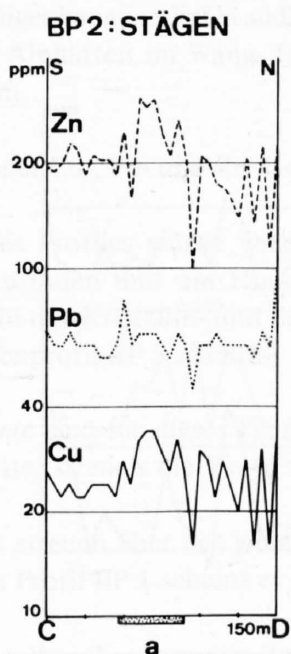


Fig. 32  
Cu-, Pb- und Zn- Gehalte  
der Böden im Profil Stägen

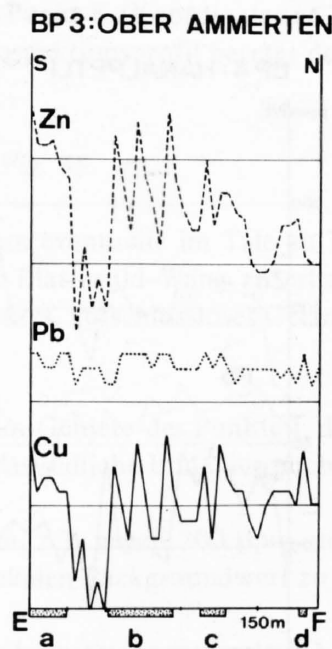


Fig. 33  
Cu-, Pb- und Zn-Gehalte der  
Böden im Profil Ober Ammert

Hier finden wir eine Reihe von Kupfer-Zink-Anomalien: BP 3 a, b, c und d. Die Bleiwerte streuen in einem sehr engen Bereich um den Zentralwert. Zwischen den Elementen Kupfer und Zink besteht eine bereits in dieser Darstellung auffallend ersichtliche Korrelation. Die berechneten Korrelationskoeffizienten bestätigen diese Beobachtung: Cu/Pb : 0,448; Cu/Zn : 0,781; Pb/Zn : 0,529.

Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) für *alle* Korrelationskoeffizienten abgelehnt werden. Eine gute Korrelation findet sich aber nur für Cu und Zn. Die Bedeutung dieser punktförmigen Anomalien ist zunächst unklar. Sehr wahrscheinlich handelt es sich hier um Metallkonzentrationen, die durch mineralisierte Kluftflächen zu erklären wären. Ein über das Gebiet von Ober Ammert zu legendes Punktnetz könnte dieses Problem lösen, da damit festgestellt werden könnte, ob es sich um linien- oder mehr flächenförmige Metallanomalien handelt.

#### 3.4.2.4 Bodenprofil BP 4 : Hanalpetli

Der Beginn dieses Profiles liegt beim Punkt G (Koordinaten: 635'810/152'380) südlich des Roten Baches auf der östlichen Talseite und verläuft in südwestlicher Richtung hangparallel zum Punkt H (Koordinaten: 635'550/152'020) etwas nördlich des Schwandbächleins. Südlich der Alphütten Hanalpetli verläuft das Profil leicht hangabwärts. In diesem Prospektionsprofil beträgt der Probenabstand 10 m.

Dieses Bodenprofil wurde gewählt, um vermutete, im Talgrund aber nicht aufgeschlossene Erzgänge aufzufinden.

Die Resultate der Cu-, Pb- und Zn-Gehalte finden sich in Fig. 34.

In diesem Profil lassen sich drei Anomalien feststellen: BP 4 a, b und c.

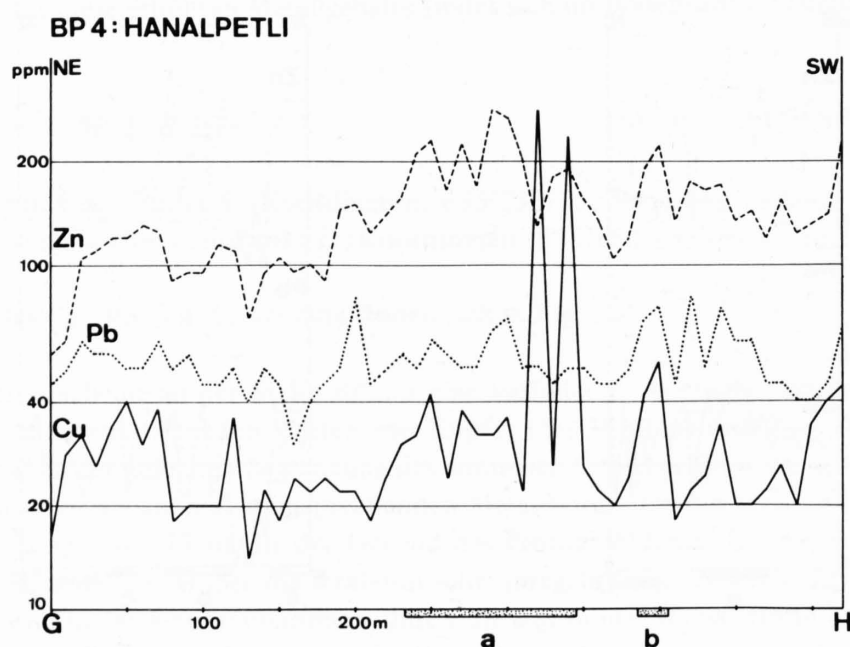


Fig. 34  
Cu-, Pb- und Zn-Gehalte der Böden im Profil Hanalpetli



*BP 4 a:* Diese 115 m breite Zinkanomalie enthält einen Spitzenwert von 280 ppm Zn, die übrigen Werte schwanken um 200 ppm. Die Kupferwerte betragen an der südlichen Begrenzung der Anomalie 280, resp. 235 ppm. Die Bleiwerte schwanken alle um den Schwellenwert.

*BP 4 b:* Eine nur 20 m breite Zone enthält Cu-, Pb- und Zn-Gehalte, die einen konformen Verlauf zeigen: Cu bis 52 ppm, Pb bis 75 ppm und Zn bis 220 ppm.

*BP 4 c:* Am südlichen Ende dieses Bodenprofiles, gegen den Punkt H zu, beginnen die Werte für alle drei Metalle stark zuzunehmen, um im Punkt H die Gehalte von Cu = 44 ppm, Pb = 65 ppm und Zn = 225 ppm zu erreichen. Diese Werte zeigen den Beginn einer Anomalie und werden ein gegen Süden zu ergänzendes Profil erfordern.

*Korrelationskoeffizienten:* Cu/Pb : 0,284; Cu/Zn : 0,489; Pb/Zn : 0,490. Die Nullhypothese kann bei einem Aussagerisiko von 1% (sign. 0,01) für *alle* Korrelationskoeffizienten abgelehnt werden. Jedoch ist in keinem der drei Elementenpaare eine gute Korrelation zu finden.

Als Arbeitshypothese könnten diese Anomalien mit Gangbildungen erklärt werden, da solche auf Grund der tektonischen Daten in diesem Gebiet zu Tage streichen müssten.

Eine endgültige Erklärung für diese Erscheinungen ist aber erst mit weiteren Proben und Felduntersuchungen möglich.

#### *3.4.2.5 Bodenprofil BP 5 : Blättwald – Wang*

Vom Punkt I (Koordinaten: 636'095/153'245) südlich des Rottalbaches verläuft dieses Bodenprofil mehr oder weniger hangparallel in südlicher Richtung zum Punkt K (Koordinaten: 635'630/152'800) unterhalb der Alfhütten im Wang. In diesem zweiten Prospektionsprofil beträgt der Probenabstand wiederum 10 m.

Die Resultate der Cu-, Pb- und Zn-Gehalte finden sich in Fig. 35.

Die Lage dieses Profiles wurde wiederum so gewählt, um eventuelle im Tale zu Tage streichende Erzgänge aufzufinden und um Hinweise auf das Gebiet Blättwald-Wang zu erhalten. Es handelt sich hier um ein mit Kristallin- und Sedimentschutt bedecktes, aufschlussloses Gelände, welches steil gegen das Bodenprofil BP 5 zufällt.

Die *Kupferwerte* sind für dieses Profil charakteristisch: Im Gebiete des Punkte I, d.h. auf der nördlichen Profilseite, streuen die Werte um 55 ppm, gegen das südliche Ende nur noch um 30 ppm Cu.

Die *Zinkwerte* streuen über das ganze Profil um 150 ppm, z.T. gegen 200 ppm und mehr. Im Vergleich mit dem Profil BP 1 scheint es sich hier um einen lokalen Backgroundwert zu handeln.

Die *Bleiwerte* schwanken um den Zentralwert, mit Ausnahme eines vereinzelt hohen Wertes von 95 ppm bei m 530.

Bemerkenswert könnten zwei Anomalien sein: BP 5 a und b.

BP 5 a: Diese wird gebildet durch Kupferwerte um 55 – 60 ppm. Die entsprechenden Blei- und Zinkwerte zeigen aber keinen anomalen Verlauf.

BP 5 b: Diese nur 10 m schmale Zone wird gebildet von einem Kupferwert von 54 ppm und einem Zinkwert von 200 ppm. Der Bleigehalt ändert sich kaum.

Korrelationskoeffizienten: Cu/Pb : 0,066; Cu/Zn : – 0,221; Pb/Zn : 0,220. Die Nullhypothese kann selbst bei einem Aussagerisiko von 5% für alle Korrelationskoeffizienten *nicht abgelehnt* werden. Die gefundenen Korrelationskoeffizienten sind damit eindeutig *nicht signifikant*.

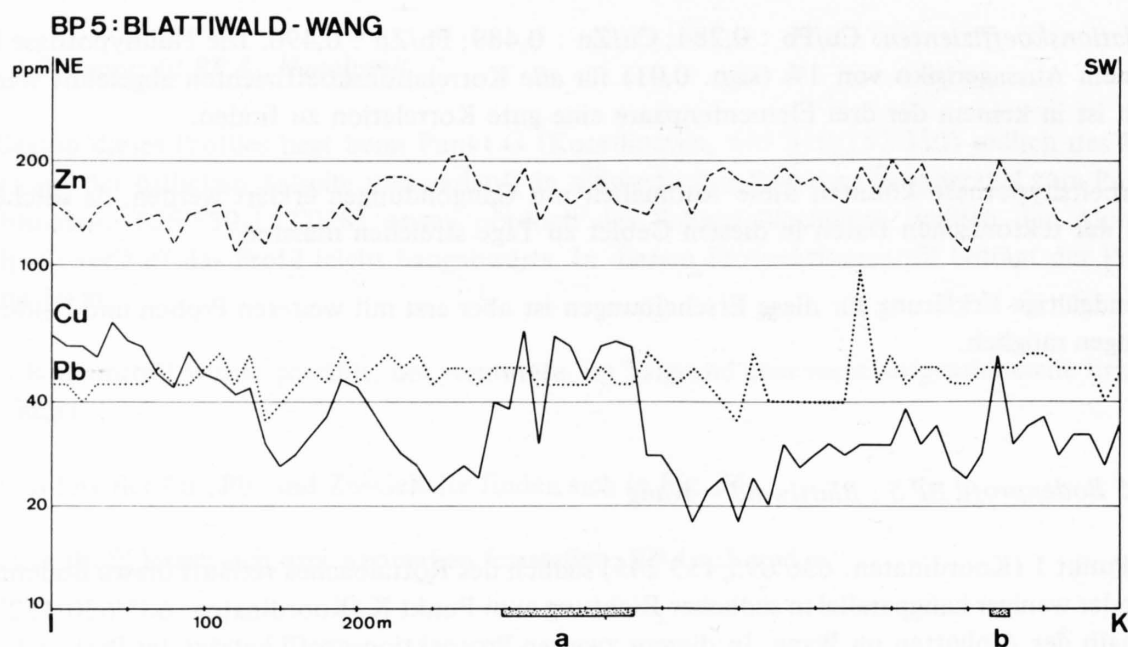


Fig. 35  
Cu-, Pb- und Zn-Gehalte der Böden im Profil Blattiwald – Wang

Tabelle 3: Die Korrelationskoeffizienten für Cu, Pb und Zn in den Bodenprofilen BP 1 bis 5

	N <sup>1)</sup>	Cu/Pb	Cu/Zn	Pb/Zn
Bodenprofil BP 1: Gute Hoffnung	72	0,128	0,743	0,377
Bodenprofil BP 2: Stägen	31	0,571	0,864	0,492
Bodenprofil BP 3: Ober Ammertten	39	0,448	0,781	0,529
Bodenprofil BP 4: Hanalpetli	52	0,284	0,489	0,490
Bodenprofil BP 5: Blattiwald-Wang	71	0,066	– 0,221	0,220

1) In der Gesamtsumme N sind die erratisch hohen Werte nicht enthalten.  
Diese Korrelationskoeffizienten wurden aus den logarithmisch transformierten Daten berechnet.

### 3.4.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN GEOCHEMISCHEN DATEN DER BODENPROFILE

- a) Bodenprofile ermöglichen auch in einem Gebiet mit akzentuierten topographischen Verhältnissen Gänge vom Typus Trachsellaunen festzustellen.
- b) Die Bildung des sekundären Dispersionshofes (Bodenhof) wird durch die geologischen und topographischen Verhältnisse bei Trachsellaunen nicht begünstigt. Es war dennoch möglich, für die verschiedenen Elemente Dispersionshöfe nachzuweisen.

Über einem Gangvorkommen erreichen die Anomalien der einzelnen Metalle folgende Breiten:

*Kupfer*    ungefähr 50 m

*Zink*     ungefähr 60 m

Das *Blei* verhält sich sehr selektiv und sollte daher nur als Ergänzung zu den Kupfer- und Zinkwerten verwendet werden.

Die in einem alpinen Gebiet mit spezifischen topographischen und klimatischen Verhältnissen gebildeten Anomalien sind nur etwa halb so breit wie solche in Gebieten mit einem weniger ausgeprägtem Relief, wie z.B. KLEIN & MARTIN (1965) für Erzgänge am Taunus-Ostrand feststellen konnten. Dort bildet das Kupfer Anomalien von bis 140 m Breite, das Blei solche von rund 90 m Breite. Diese Untersuchungen erfolgten über Quarzgängen, die als Haupterze Bleiglanz und Kupferkies führen.

Im Lagerstättegebiet Bleialf/Eifel stellten KULMS & FRIEDRICH (1970) über im Unterdevon auftretenden Bleierzgängen für Blei Dispersionshöfe von 80 bis über 200 m Breite fest.

- c) Für Bodenprofile (lokale Prospektion) sollte nach diesen Erfahrungen in Gebieten mit Hangneigungen bis 45° und mehr (siehe Fig. 2) der Probenabstand nie 10 m überschreiten. Von Vorteil sind 2 – 3 parallele Profile im Abstand von 20 – 30 m mit treppenförmig zueinander versetzten Probenpunkten.
- d) Für regionale Untersuchungen (Übersichtsprospektion) nach der Methode des „track-soil-sampling“ sollte der Probenabstand wenn möglich nie 100 m überschreiten.

## 4 Gebiete anomaler Metallkonzentrationen in den Flussedimenten und Böden des hinteren Lauterbrunnens und des vorderen Sefinentales

Basierend auf den Metallgehalten, wie sie in den Karten für Flussedimente (Fig. 9 – 12) und Böden (Fig. 22 – 24) dargestellt sind, wurde versucht, die Gebiete anomaler Metallkonzentrationen flächenmässig zu umreissen. Das Ergebnis ist in Figur 36 enthalten. Die einzelnen Flächenschraffierungen sollen die einzelnen Gebiete gegeneinander hervorheben: die Kreuz-Schraffur (Gebiete 1 und 2) entspricht Anomalien, die seit langem bekannten Erzvorkommen zugeordnet werden können (Abschnitt 4.1). Die feine Schrägschraffur, Gebiete 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (z.T.), 11 (z.T.), 17 und 19 kennzeichnet Anomalien im kristallinen Gebiet ohne nennenswerte Beeinflussung durch sedimentäres Material. Die weite Querschraffur, die Gebiete 20, 21 und 22, zeigt Anomalien, welche ihren Ursprung im autochthonen Sedimentmaterial haben. Gebiete im Kristallin, die durch Sedimentschutt beeinflusst wurden, sind durch die Kombination der feinen Schräg- und der weiten Querschraffur hervorgehoben. Es sind dies die Gebiete 10 (z.T.), 11 (z.T.), 12, 13, 14, 15, 16 und 18. Im Sefinental werden die dortigen Anomalien 23, 24, 25 und 26 durch eine weitere Schrägschraffur hervorgehoben. Beachte im Nachfolgenden auch Tabelle 4 (Seite 72).

### 4.1 GEBIETE ANOMALER METALLKONZENTRATIONEN, DIE BEKANNTEN ERZVORKOMMEN ZUGEORDNET WERDEN KÖNNEN

In diesem Abschnitt werden die Gebiete 1, 2 und 3 behandelt.

#### 4.1.1 DAS GEBIET UNTERHALB DEM ABBAUREVIER BREITLAUENENALP

Dieses auf der Figur 36 mit No. 1 bezeichnete Gebiet umfasst den ganzen unteren Teil der Breitlauenenalp und das Gebiet der Oberen und Unteren Schwand. Es liegt nahe, den Ursprung für diese anomalen Metallkonzentrationen im Abbaurevier Breitlauenen (in Fig. 36 mit „B“ bezeichnet), in den Erzfundstellen im Böswang (mit „G“ bezeichnet) und unter dem mittleren Breitlauenen-gletscher („F“) zu suchen. Die Metallgehalte in den Flussedimenten (siehe Fig. 9 – 12) lassen sich, flussaufwärts immer grösser werdend, bis unterhalb der Grube *Beschertes Glück* verfolgen. Ein grosser Teil dieser Metallkonzentrationen ist durch die der Grube vorgelagerten Deponien bedingt.

Eine Beeinflussung durch die autochthonen Sedimente kann in diesem Gebiet vernachlässigt werden.



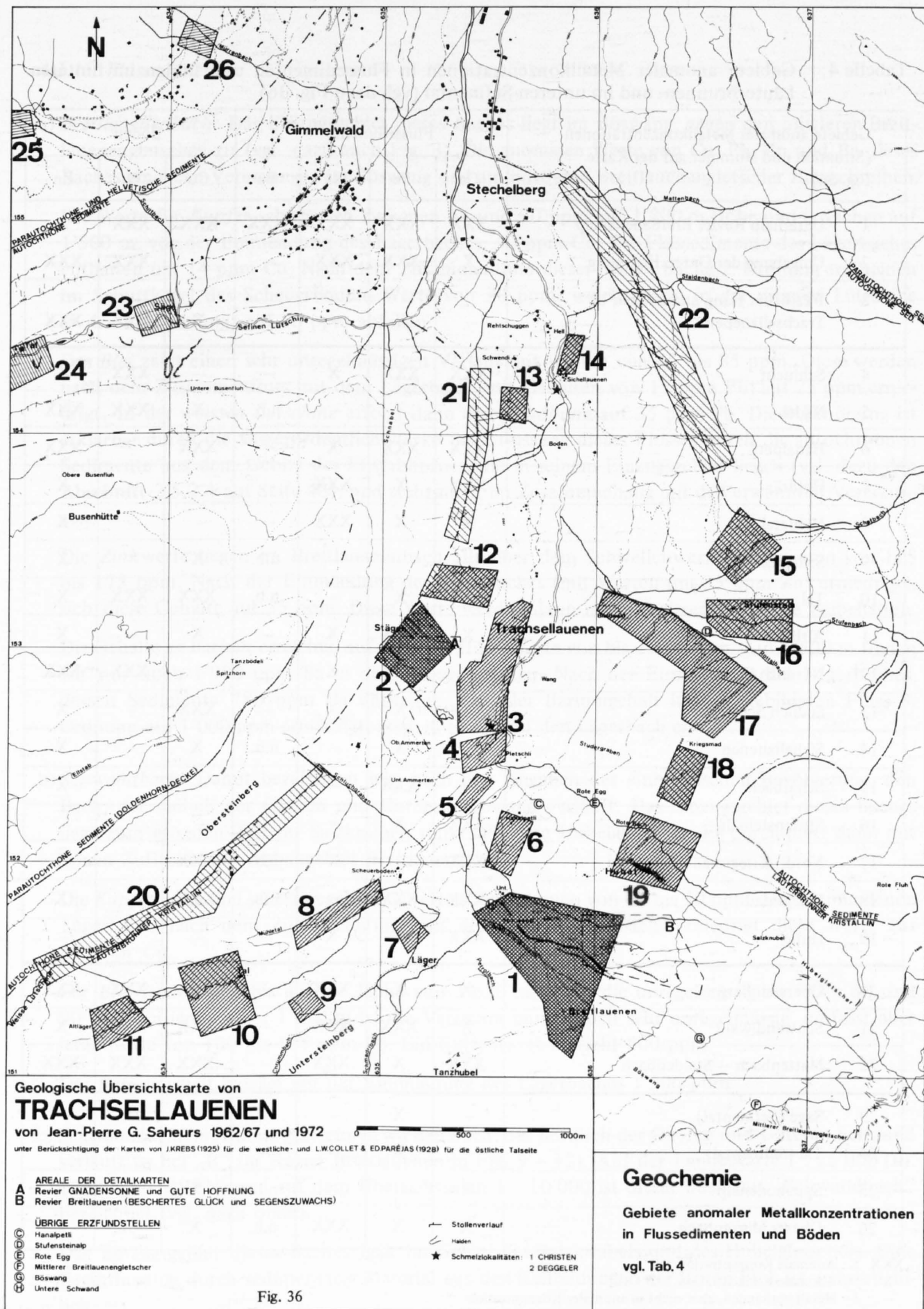


Fig. 36

„Bewilligung der Eidg. Vermessungsdirektion vom 3. März 1975“

Tabelle 4: Gebiete anomaler Metallkonzentrationen in Flusssedimenten und Böden im hinteren Lauterbrunnen- und im unteren Sefinental (vgl. dazu Fig. 36).

Gebiete anomaler Metallkonzentrationen (Situation und Nummer auf der Karte Fig. 36)	Flusssedimente				Böden		
	Cu	Pb	Zn	Ba	Cu	Pb	Zn
1 Unterhalb Revier Breitlauenenalp	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	X
2 Umgebung der Guten Hoffnung	X	XXX	XXX	—	—	XXX	XXX
3 Westlicher Hang unmittelbar ob Trachsellauenen	—	—	—	—	X	XXX	XXX
4 Schlucht	XXX	XXX	X	—	—	XXX	X
5 Nadel	—	—	—	n.b.	X	XXX	XXX
6 Hanalpetli	XXX	XXX	X	—	XXX	—	XXX
7 Holdri	XXX	X	XXX	—	—	—	X
8 Mühletal	X	X	XXX	—	—	—	X
9 Schwarzwald	—	—	—	n.b.	X	—	X
10 Tal	—	X	—	n.b.	XXX	XXX	X
11 Altläger	X	XXX	X	—	X	—	X
12 Nördlich Stägen	—	XXX	X	—	—	XXX	XXX
13 Südlich Schwendi	XXX	X	X	—	XXX	—	X
14 Sichellauenen	—	X	—	n.b.	X	—	X
15 Schafbach	—	XXX	—	—	—	—	X
16 Stufensteinalp	XXX	X	—	X	—	—	—
17 Nördl. Kriegsmad-Blattwald	XXX	—	—	n.b.	XXX	—	X
18 Kriegsmad	XXX	XXX	—	n.b.	XXX	—	X
19 Hubel	XXX	X	X	—	—	—	—
20 Obersteinberg	X	X	XXX	—	X	XXX	XXX
21 Schwendiwald	X	XXX	XXX	—	XXX	XXX	X
22 Mattenbach — Staldenbach	XXX	X	XXX	—	XXX	XXX	XXX
23 Säge (Sefinental)	—	X	—	—	—	X	—
24 Tal (Sefinental)	—	X	—	—	—	—	—
25 Spielbodenalp	X	—	—	n.b.	X	—	X
26 Oberer Mürrenbach	X	X	XXX	n.b.	X	X	—

XXX : Anomale Konzentration  $\geq t$

X : Anomale Konzentration  $\geq Z + s < t$

— : Metall vorhanden, aber nicht in anomaler Konzentration

n.b. : nicht bestimmt (die Barium Bestimmungen erfolgten nur an ausgewählten Proben)

#### 4.1.1.1 Flussedimente

- a) *Breitlauenenbach*: Das Einzugsgebiet dieses Baches liegt im Böswang, gegen den mittleren Breitlauenenengletscher zu (vgl. dazu auch Fig. 3). Die anomalen Werte von Cu, Pb, Zn und Ba dieses Baches sind den Vererzungen im Böswang und am mittleren Breitlauenenengletscher zuzuschreiben.

Die Werte für *Kupfer* schwanken zwischen 54 und 90 ppm auf 1'800 m Höhe und erreichen auf 1'500 m, vor der Einmündung des Lägerbaches, 40 ppm Cu. Die Flussedimente des Lägerbaches enthalten um 14 ppm Cu. Nach dem Zusammenfluss dieser beiden Bäche 2. Ordnung erscheinen im Schuttkegel des Scheuerbodens Werte von 20 ppm, welche dann in der weissen Lutschine (= 4. Flussordnung) auf 16 ppm abfallen.

Das *Blei* zeigt einen sehr unregelmässigen Verlauf mit Werten von 45 bis 85 ppm. Diese werden nach dem Zusammenfluss mit dem Lägerbach (mit Gehalten von 15 ppm Pb) auf 25 ppm erniedrigt. In der *weissen Lutschine* erfolgt dann eine *Erhöhung* auf 35 ppm Pb. Diese Erhöhung ist erklärbar durch die ausserordentlich starke Beeinflussung dieses Flusses durch die autochthonen Sedimente aus dem Gebiet des Ellstabhornes, die in seinem Einzugsgebiet liegen (vgl. dazu den Abschnitt 2.5.2.4 auf Seite 48), und steht nicht im Zusammenhang mit den erwähnten Vererzungen.

Die *Zink*werte liegen im Breitlauenenbach alle über dem Schwellenwert und variieren von 115 bis 175 ppm. Nach der Einmündung des Lägerbaches (mit Werten um 35 ppm Zn) erniedrigen sich diese Gehalte auf 55 ppm. Diese Werte werden dann in der weissen Lutschine beibehalten.

Die Gehalte an *Barium* erreichen auf 1'800 m Höhe Werte von bis 2'850 ppm. Auf 1'500 m finden wir nur noch 1'900 ppm Ba in den Flussedimenten. Nach der Einmündung des Lägerbaches, dessen Sedimente 780 ppm Ba enthalten, wird der Bariumgehalt im nun gebildeten Fluss 3. Ordnung auf 1'000 ppm erniedrigt, resp. in Bezug auf den Lägerbach erhöht.

- b) *Schwandbach*: Damit bezeichnen wir, nach den Angaben der einheimischen Bevölkerung, den Bach, der südlich der Oberen und Unteren Schwand verläuft. Das Einzugsgebiet dieses Baches liegt zum grössten Teil im Salzknubel, unterhalb dem Hubelgletscher. Er durchquert dann mit seinen Zuflüssen das Abbaugbiet Breitlauenen.

Die *Kupfer*werte sind sehr unregelmässig verteilt und streuen von 44 bis 70 ppm. Der einmündende Lägerbach, nach dem Zusammenfluss mit dem Breitlauenenbach, erniedrigt diese Werte auf 24 ppm Cu.

Für *Blei* finden sich bis auf die Höhe von 1'620 m Werte, die unregelmässig zwischen 60 und 90 ppm variieren. Über 1'620 m ist die Variation immer noch sehr unregelmässig, umfasst aber jetzt Werte von 100 bis 155 ppm Pb. Ein Extremwert erreicht 800 ppm.

Der *Barium*gehalt beträgt vor der Einmündung des Lägerbaches 1'500 ppm.

- c) *Schwandbächlein*: Damit bezeichnen wir den Bach, der nördlich der Oberen und Unteren Schwand verläuft (= bei „B“ für Revier Breitlauenen in Fig. 9 – 12). Auf der Landeskarte 1 : 25'000 (Bl. 1248 : MÜRREN) und auf dem Übersichtsplan 1 : 10'000 ist dieser Bach mit „Schwandbach“ bezeichnet (vgl. dazu oben).

Das Einzugsgebiet dieses Baches liegt im Gebiet des Salzknubels und des Hubelgletschers. Eine Beeinflussung durch sedimentäres Material aus den Keilbildungen der Roten Fluh ist wahrscheinlich.

Bis zur Einmündung in die Weisse Lütchine streuen die *Kupfer*werte zwischen 45 und 60 ppm, die *Blei*gehalte sehr unregelmässig zwischen 45 und 60 ppm. Sehr unregelmässig ist in diesen Flusssedimenten auch die Verteilung des *Zinks*, dessen Werte zwischen 135 und 210 ppm schwanken.

Die *Resultate* unserer Untersuchungen über die Geochemie der Flusssedimente in Bezug auf die Vererzungen im Abbaurevier Breitlauenen sagen aus, dass sich diese Vererzungen nur in solchen aus Gewässer 1. und 2. Ordnung eindeutig nachweisen lassen: Die *Kupfer*werte in der Grössenordnung von t bis 1,5 t finden sich in beiden Flussordnungen. Die *Blei*gehalte liegen in den höher gelegenen Gebieten um t bis 2 t, die jedoch unregelmässig sehr rasch auf Werte unter t absinken; die *Zink*werte variieren von t bis 2 t und sinken in den tiefer gelegenen Gebieten graduell auf Werte ab, die etwas über t liegen.

#### 4.1.1.2 Bodenproben

Nur *Kupfer* zeigt in diesem Gebiet vereinzelt auffallende Werte zwischen dem Zentralwert Z und t. Die Metalle *Blei* und *Zink* zeigen keine markanten Werte.

### 4.1.2 DAS GEBIET DER UMGEBUNG DES BERGWERKES GUTE HOFFNUNG

Dieses Gebiet anomaler Metallkonzentrationen ist auf der Figur 36 mit No. 2 bezeichnet.

Bei der Interpretation der Daten aus diesem Gebiet ist die starke Beeinflussung durch Material aus den autochthonen Sedimenten zu berücksichtigen (vgl. dazu Abschnitt 3.4.2.1 und Fig. 2).

#### 4.1.2.1 Flusssedimente

Die *Kupfer*gehalte sind mit Werten von 18 bis 32 ppm nicht auffallend. *Blei* ist mit Gehalten zwischen 60 und 100 ppm repräsentativ, besonders unter der Berücksichtigung des Einflusses der Geochemie der autochthonen Sedimente. Die *Zink*werte zwischen 105 und 220 ppm sind charakteristisch. Diese sind durch die Sedimente der Trias und des Doggers wesentlich beeinflusst worden.

#### 4.1.2.2 Bodenproben

Die *Kupfer*werte liegen alle knapp um den Schwellenwert t von 34 ppm der autochthonen Sedimente. Die *Blei*gehalte sind mit 50 bis z.T. 75 ppm nicht, *Zink* dagegen mit Werten bis zu 250 ppm recht auffallend, besonders wenn der Einfluss aus dem sedimentären Gebiet berücksichtigt wird.

### 4.1.3 DAS GEBIET DES WESTLICHEN HANGES UNMITTELBAR OB TRACHSELLAUENEN

Im südlichen Teil dieses Gebietes (No. 3 in Fig. 36) finden wir in den Böden *Kupfer*werte von 22 bis 40 ppm, *Blei*werte von 140 bis 540 ppm und *Zink* in Gehalten von 360 bis 495 ppm. In diesem



Areal finden sich keine unmittelbaren Aufschlüsse. Als Ursprung dieser anomalen Metallgehalte in den Böden könnten die Vererzungen des Abbaureviers GNADENSONNE – GUTE HOFFNUNG angenommen werden.

Der kleine Bach, der im „Krachen“ <sup>1)</sup> einer ausgeprägten Verschieferungszone entlang verläuft, quert dort auf 1'450 m Höhe die Vererzungszone <sup>2)</sup>. Es ist gut möglich, dass die Metalle, beispielsweise durch Bachwasser, in die tiefer gelegenen Böden verschleppt wurden. In diesem Falle würden die Anomalien, bedingt durch die Steilheit des Geländes, einem recht grossen sekundären Dispersionshof entsprechen. Auf der andern Seite darf der Einfluss der Deponien des Bergwerkes Gandensonne (diese sind in Fig. 2 sehr schön sichtbar) nicht ausser acht gelassen werden.

Im nördlichen Teil dieses Gebietes, vom Stägenschoopf in nordöstlicher Richtung bis zu den ersten Hütten und dann hangabwärts bis auf die Höhe von Trachsellauen finden sich im Boden Kupfergehalte von 38 bis 48 ppm. Die Bleiwerte betragen 95 bis 140 ppm und diejenigen für Zink zwischen 185 und 330 ppm.

Diese anomalen Metallkonzentrationen können wir bis heute keinem bekannten Erzvorkommen zuordnen, und sie müssen deshalb mit Detailuntersuchungen weiterverfolgt werden.

#### 4.2 GEBIETE ANOMALER METALLKONZENTRATIONEN, DIE VERMUTETEN VERERZUNGEN ZUGEORDNET WERDEN KÖNNTEN

In diesem Abschnitt werden die Anomalien 4, 5 und 6 besprochen (siehe aber auch No. 3, nördlicher Teil, im obigen Abschnitt) die vermutlich mit bereits bekannten Vererzungen in Beziehung zu bringen sind.

##### 4.2.1 DAS GEBIET DER SCHLUCHT

Diese Anomalie No. 4 besitzt in ihrem höher gelegenen Teil, d.h. im kleinen Bach in den Felsen nordöstlich der Schlucht, in *Flussedimenten* Kupfergehalte von 58 ppm, Bleigealte von 70 ppm und Zinkwerte von 285 ppm.

Im östlichen Teil dieses Gebietes, d.h. hangabwärts, finden wir im *Boden* Kupferwerte von bis 38 ppm, Bleiwerte von 200 bis 650 ppm und Zinkgehalte von 150 bis 210 ppm.

##### 4.2.2 DAS GEBIET DER NADEL

Diese Anomalie No. 5 besitzt im *Boden* Kupfergehalte von bis 42 ppm, Blei bis 95 ppm und Zinkwerte von 155 bis 385 ppm.

1) Mit der Bezeichnung Krachen, die von den alten Plänen des Bergwerkes GNADENSONNE übernommen wurde, wird der morphologische Einschnitt verstanden, der durch die Steilwand von Ober Ammert gegen die Stägen zu gebildet wird.

2) Auf Grund der Morphologie war hier zu vermuten, dass sich der Bach seinen Weg entlang einer Schieferungszone suchen würde. Um das abzuklären, wurde Anfangs August 1966 an der Stelle, wo die Fortsetzung der vererzten Gangzone vermutet wurde, eine kleine Schürfung angelegt (Koordinaten: 635'185/152'790/1450 m Höhe). Diese erreichte dann nach 130 cm Schuttbedeckung den verschieferten Quarz-Barytgang, der an dieser Stelle eine besonders reiche Erzführung zeigt. Bei dieser Vererzung handelt es sich um ein Sphalerit-reiches Misch Erz, das reichlich Magnetit führt.

#### 4.2.3 DAS GEBIET HANALPETLI

*Flussedimente* des Gebietes 6 führen 84 ppm Cu, 70 ppm Pb und bis 230 ppm Zn.

Mit diesen anomalen Metallgehalten fallen die im Bodenprofil BP 4 (siehe 3.4.2.4, Seite 66) gefundenen Anomalien BP 4 b und c zusammen.

Aus tektonischen Überlegungen ist zu vermuten, dass alle in diesem Abschnitt beschriebenen Anomalien auf verdeckte Erzgänge oder ihnen parallele Störungszonen zurückgeführt werden könnten. Für die Anomalien 4, 5 und 6 (BP 4 a) käme eine südöstliche Fortsetzung der Gänge aus dem Bergwerk Gandensonne in Frage. Diese anomalen Metallkonzentrationen müssen unbedingt mit Detailuntersuchungen weiterverfolgt werden.

### 4.3 GEBIETE ANOMALER METALLKONZENTRATIONEN, DIE KEINEM BIS HEUTE BEKANNTEN ERZVORKOMMEN ZUGEORDNET WERDEN KÖNNEN

#### 4.3.1 DAS GEBIET HOLDRI

Diese Anomalie No. 7 ist gekennzeichnet durch ein *Flussediment* mit Cu = 112 ppm, Pb = 60 ppm, Zn = 350 ppm und Ba = 310 ppm. *Bodenproben* führen 20 ppm Cu, 60 ppm Pb und 160 ppm Zn.

Das Einzugsgebiet dieses Baches muss im Südwesten dieser Anomalie weiter untersucht werden.

#### 4.3.2 DAS GEBIET MÜHLETAL

Die *Flussedimente* dieser Anomalie No. 8 in diesem kleinen Tälchen führen Cu bis 42 ppm, Pb bis 65 ppm, Zn bis 260 ppm und Ba mit 340 ppm. Die im Rahmen des „track-soil-sampling“ Programmes gesammelten *Bodenproben* zeigen keine auffallenden Metallwerte. Das bewaldete und stark zerklüftete Einzugsgebiet dieses Baches benötigt weitere Untersuchungen.

#### 4.3.3 DAS GEBIET DES SCHWARZWALDES

Diese untergeordnete *Bodenanomalie* No. 9 mit Cu = 44 ppm, Pb = 65 ppm und Zn = 225 ppm ist in ihrer Ausdehnung gegen den Untersteinberg zu noch nicht abgeklärt. Sie sollte im Rahmen der weiteren Detailuntersuchungen mituntersucht werden.

#### 4.3.4 DAS GEBIET TAL

Diese besonders auf der südlichen Seite der Weissen Lutschine offensichtliche *Bodenanomalie* No. 10 besitzt bis zu 92 ppm Cu, 70 ppm Pb und bis zu 275 ppm Zn.

Die Ausdehnung gegen den Untersteinberg muss im Zusammenhang mit weiteren Feldarbeiten abgeklärt werden.

#### 4.3.5 DAS GEBIET ALTLÄGER

Der aus dem Gebiet Schafläger – Oberhornalp herstammende Bach bildet im Altläger in seinen Sedimenten die Anomalie No. 11 mit Cu bis 32 ppm, Pb bis 70 ppm, Zn bis 150 ppm und Ba mit 460 ppm.

#### 4.3.6 DIE GEBIETE ANOMALER METALLKONZENTRATIONEN IM GRENZGEBIET KRISTALLIN – AUTOCHTHONE SEDIMENTE

Ein Band von Gebieten anomaler Metallkonzentrationen, in Form der Anomalien No. 20, 21 und 22 (in Fig. 36), erscheint entlang des Kontaktes Kristallin – autochthone Sedimente auf der westlichen wie auch auf der östlichen Talseite. Dieser Kontakt ist zugleich durch einen Geländeknick charakterisiert.

Die aus den übrigen Gebieten der autochthonen Sedimente erhaltenen Daten bekräftigen die Vermutung, dass diese Anomalien in den *Flussedimenten*, wie auch diejenigen in den *Böden*, ihren Ursprung in den unteren Partien der autochthonen Sedimente haben müssen. Die Zentralwerte betragen für die Flussedimente, die besonders durch die Trias und den Dogger beeinflusst sind 76 ppm für Zn, für solche aus dem kristallinen Einzugsgebiet nur 60 ppm. Das von Trias und Dogger beeinflusste Einzugsgebiet weist für Pb einen Zentralwert von 46 ppm auf. In Bächen aus den autochthonen Sedimenten, d.h. exkl. solchen aus der Trias und dem Dogger weisen die Flussedimente einen solchen von 65 ppm Pb auf. Diesen Werten steht der Zentralwert von 32 ppm Pb aus dem kristallinen Einzugsgebiet gegenüber (vgl. dazu die Diskussion auf Seite 48 im Abschnitt 2.5.2.3).

Die *Flussedimentanomalien* sind durch folgende Werte charakterisiert:

	Anomalie No.: 20	21	22
Cu	bis 28 ppm	bis 50 ppm (!)	bis 34 ppm
Pb	bis 65 ppm	bis 90 ppm	bis 75 ppm
Zn	bis 210 ppm	bis 190 ppm	bis 220 ppm
Talseite	westlich	westlich	östlich

Für die *Böden* finden sich hier folgende Werte:

Cu	bis 30 ppm	bis 36 ppm	bis 34 ppm
Pb	bis 70 ppm	bis 70 ppm	bis 105 ppm
Zn	bis 275 ppm	bis 335 ppm	bis 430 ppm

Es sei an dieser Stelle noch nachdrücklich vermerkt, dass die Werte für die Böden nicht etwa in einen direkten Zusammenhang mit denjenigen für die Flussedimente gebracht werden dürfen, sondern dass zuerst die topographischen Verhältnisse zu berücksichtigen sind! (Vgl. die Diskussion im Abschnitt 4.3.9).

#### 4.3.7 ÜBRIGE ANOMALIEN IM KRISTALLIN (VORWIEGEND MIT SEDIMENTSCHUTT)

Auf Grund der bisherigen Ergebnisse unserer Untersuchungen könnten die Anomalien No. 12 – 19 als sekundäre Dispersionen von Dispersionshöfen (z.B. Anomalie 21) im Grenzgebiet Kristallin – autochthone Sedimente erklärt werden.

#### 4.3.8 DIE GEBIETE ANOMALER METALLKONZENTRATIONEN IM SEFINENTAL

Auf die Anomalien No. 23 – 26 sei hier nicht näher eingegangen. Zur Abklärung derselben bedarf es weiterer Untersuchungen gegen Westen und Nordwesten.

#### 4.3.9 DISKUSSION ÜBER DIE MÖGLICHE HERKUNFT VON Cu, Pb UND Zn IN DEN FESTGESTELLTEN ANOMALIEN IM HELVETISCHEN DOGGER UND IM GRENZBE- REICH KRISTALLIN – AUTOCHTHONE SEDIMENTE IM HINTEREN LAUTER- BRUNNENTAL

Unsere geochemischen Prospektionsarbeiten im Lauterbrunnental waren methodisch ausgerichtet auf das Auffinden geringmächtiger Pb-Zn-Gänge. Während der Untersuchung ergaben sich u.a. zwei charakteristische Arten von Anomalien, die auf Grund unserer heutigen Kenntnisse in keinem ursächlichen Zusammenhang mit den Pb-Zn-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellauenen stehen. Es handelt sich dabei 1.) um die sich erhöhenden Zn und Cu Gehalte der Weissen Lutschine unterhalb von Lauterbrunnen beim Durchqueren der helvetischen Doggermassen und 2.) um die im Grenzbereich Kristallin – autochthone Sedimente auftretenden Anomalien von Cu und Zn und z.T. auch von Pb. Zur Abklärung dieser Probleme werden weitere Feldarbeiten durchgeführt. Zur Zeit muss deshalb noch offen bleiben, ob sich diese anomalen Metallgehalte auf den gleichen Ursprung zurückführen lassen oder nicht. Im Folgenden sind die uns bis heute zugänglichen Daten diskutiert.

##### 4.3.9.1 Die Cu-Zn-Ba-Anomalien in den Flusssedimenten der Weissen und Schwarzen Lutschine unterhalb von Lauterbrunnen, bzw. von Grindelwald

Wie wir weiter oben im Kapitel 2.4 (Seite 29) sahen, erhöhen sich die Cu, Zn und Ba Werte der Weissen Lutschine unterhalb von Lauterbrunnen. Oberhalb von Lauterbrunnen finden wir Cu-Gehalte um 12 ppm, Zn in der Grössenordnung von 50 ppm und Ba um 250 ppm. Unterhalb von Lauterbrunnen finden sich höhere Werte: Cu bis 36 ppm, Zn bis 85 ppm und Ba bis 920 ppm. In der Schwarzen Lutschine finden sich unterhalb von Grindelwald ähnliche Werte. Auf Grund der geologischen Situation können diese plötzlichen Änderungen in der Geochemie der Weissen Lutschine den hier durchquerenden helvetischen Doggermassen zugeschrieben werden <sup>1)</sup>. Über die Geochemie des Kupfers, des Zinks und des Bariums in diesen Doggersedimenten ist leider noch nichts bekannt. Vor allem fehlen Daten über Metallgehalte des helvetischen Doggers, die unseres Erachtens zur Klärung verschiedener noch offener Fragen dienen könnten. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Beobachtung SEEBER's (1911:50):

1) Es wäre jedoch noch genau zu prüfen, inwieweit die Metallgehalte in den Flusssedimenten der Lutschine unterhalb von Lauterbrunnen und Grindelwald anthropogen beeinflusst sein könnten. Zur Zeit der Probenahme war z.B. in Grindelwald noch keine Abwasser-Reinigungs-Anlage (ARA) in Betrieb.



„Auf dem Widderfeld 1) etwa bei Punkt 2438 der top. Karte, findet sich eine grob-spätige, graue Echinodermenbreccie als Einlagerung in die Cancelllophycusschichten, die etwa 20 – 30 cm mächtige Linsen von Pyrit und Zinkblende führt. Stellenweise ist das massige Erz mit der Echinodermenbreccie verwachsen. Die Mächtigkeit der ganzen Schicht, in der sich Überreste von schlecht erhaltenen Zweischalern vorfinden, beträgt etwa 2 m.“

Diese Cancelllophycusschichten bilden die untere Stufe des mittleren Doggers (Bajocien). Diese Zone tritt unterhalb von Lauterbrunnen mit grösserer Mächtigkeit auf. Der in diesem Gebiete von Südwesten her in die Weisse Lutschine mündende Sausbach (das Saustal ist in Fig. 5 – 8 eingetragen) wird in seinem Einzugsgebiet zum grössten Teil von diesen Sedimenten beeinflusst. Dieser Fund 2) SEEBER's bestätigt, dass in diesen Doggerbildungen wenigstens stellenweise eine so grosse Menge Zink vorhanden war, dass es zur Bildung von Sphalerit kam. In den analogen Schichten des Juragebirges wurden verschiedentlich kleine Sphaleritvorkommen beschrieben, wie z.B. von P. NIGGLI, et al. (1940:285), PROTCHE & VANCON (1962), HOLENWEIG (1967, 1968, 1969) und GRAESER (1971). Es ist nicht ausgeschlossen, dass der Dogger, insbesondere das Bajocien, einen recht hohen Zinkgehalt aufweist, ohne dass es überall zur Bildung von Sphalerit kommen musste. Andererseits wäre es auch möglich, dass eine disperse Vererzung verbreiteter ist, als bis heute bekannt ist.

Diese Beeinflussung der Flusssedimente, die, wie wir vermuten, ganz oder mindestens z.T. durch die Metallgehalte der Sedimente des Bajociens erfolgte, sei vorerst als *geochemische Barriere* 3) bezeichnet. Dies im Gegensatz zum umgekehrten Fall, der als *geochemische Verdünnung* zu bezeichnen wäre (vgl. z.B. auf Seite 48 das Verhalten der Elemente in der Weissen Lutschine oberhalb von Stechelberg). Wir erhalten deshalb in Flüssen unterhalb solcher geochemischer Barrieren erhöhte Metallgehalte in den Sedimenten. Im vorliegenden Beispiel kann sehr schön gezeigt werden, dass das Erkennen der geochemischen Barrieren für die Interpretation der geochemischen Daten in der Prospektion von grundlegender Bedeutung ist und beim Nichterkennen zu Fehlschlüssen führen kann.

#### 4.3.9.2 Cu-, Pb- und Zn-Anomalien im Grenzbereich Kristallin – autochthone Sedimente im hinteren Lauterbrunnental

Auf Grund unserer Beobachtungen scheint der Ursprung für diese anomalen Metallkonzentrationen entweder in den Sedimenten des Doggers oder solchen der Trias zu liegen.

Der autochthone Dogger ist im Gegensatz zur helvetischen Fazies nicht mächtig entwickelt. Hinweise auf Pb-Zn-Vererzungen aus diesem Gebiet fehlen. Andererseits ist die Trias, in germanischer Fazies, recht mächtig ausgebildet (KREBS, 1925; COLLET et PARÉJAS, 1931):

Keuper	Quartenschiefer 15 m
	Equisetenschiefer und begleitende Sandsteine 1 – 6 m
	Quarzitbank
	Basalbreccie 1,2 – 2 m

1) Das Widderfeld (Koordinaten: 646'500/168'900) befindet sich nördlich von Grindelwald, nordöstlich des Firsts.

2) Den Hinweis auf diese Vererzung erhielt ich von Herrn Dr.B. Tröhler, wofür ich an dieser Stelle bestens danken möchte. Auf einer im Jahre 1965 gemeinsam durchgeführten Begehung konnte diese Vererzung nicht aufgefunden werden. Leider konnte auch in der Sammlung des Geologischen Institutes der Universität Bern von dieser Erzfundstelle keine Probe mehr gefunden werden.

3) PERELMAN (1972:279) gibt folgende Definition: „Geochemische Barrieren nennen wir solche Bereiche der Hypergenesezone, in denen auf kurze Entfernung eine starke Verringerung der Intensität der Migration erfolgt, was zu einer Konzentration der chemischen Elemente führt.“

Für unsere Betrachtungen wollen wir den Begriff der geochemischen Barriere wie folgt fassen: In Flusssedimenten (oder Böden) kommt es beim Vorliegen einer geochemischen Barriere zur Erhöhung einer Elementkonzentration. Damit soll aber über die Art und Weise des Zustandekommens der Konzentration nichts ausgesagt werden.

Muschelkalk	Rötidolomit mit grob-brecciöser Basis 20 – 40 m Rauhwanke 12 m
Buntsandstein	Helle quarzitisches Sandsteine mit grünen Schiefer- einlagerungen (bei Stechelberg: 3 m; südlich Hotel Tschingelhorn: 0,1 m)

Aus dem *südlichen Aarmassiv* sind aus den Triasdolomiten (Muschelkalk) zahlreiche Mineralfunde bekannt. Im Steinbruchgraben treten z.B. auf: Fluorit, Cölestin, Baryt, Galenit, Sphalerit, Pyrit, Fahlerz, u.a. (SCHENKER, 1946:38).

In der gleichen Gegend findet sich im Blaugraben im unteren Lias (Lotharingen) ein grob konglomeratischer, bis 1 m mächtiger Quarzit, der stellenweise bis zu 20 % Sphalerit enthält, daneben tritt auch Pyrit und Galenit auf (HUTTENLOCHER, 1934:46; SCHENKER, 1946:46). Im *östlichen Aarmassiv* findet sich im Rötidolomit am Gnapperkopf ein Fahlerzvorkommen (CADISCH, 1939: 14; HÜGI, 1941:80). Vererzungen aus der *Trias des Gotthardmassives* beschreiben WINTERHALTER (1930:111,63) und J.D.FREY (1967:49), aus derjenigen des *Mont Blanc Massivs* <sup>1)</sup> GRASMÜCK (1961:440).

Aus dem *ausseralpinen Europa* ist bekannt, dass die paläogeographischen Verhältnisse in der Trias zur Bildung von Erzlagertstätten besonders günstig waren. Als Beispiele aus der Trias in germanischer Fazies seien erwähnt:

- Die *Bleiglanzbank im mittleren Keuper* Südwestdeutschlands führt Baryt, Galenit, Covellin und Bornit (WEINELT, 1955; GEYER & GWINNER, 1968; BROCKAMP, 1973).
- In den *Cevennen* im südlichen Massif Central finden wir eine ausgeprägte Metallisation (BERNARD, 1961).
- Die Pb-Zn-Vererzungen in der *oberschlesischen Trias* (Górny Śląsk) sind seit langem bekannt (siehe z.B. VON GRODDECK, 1879: 248–253; ALTHANS, 1893; STAPPENBECK, 1928; KEIL, 1956; GALKIEWICZ, 1967; GRUSZCZYK, 1967).

Es würde nach den oben gegebenen Angaben nicht überraschen, wenn der Ursprung für diese Anomalien in den triassischen Sedimenten zu finden wäre. Wie auf Seite 78 postuliert, sollten unseres Erachtens auch die Metallgehalte dieser Sedimente untersucht werden.

Zur Abklärung dieser offenen Fragen ist eine Detailuntersuchung der Böden im Gebiet der Anomalie No. 20 angezeigt: Vom Hotel Obersteinberg gegen Norden bis oberhalb des Hotels Tschingelhorn. Zusammen mit diesen Bodenuntersuchungen muss eine Untersuchung der Trias- und Doggersedimente erfolgen, wobei in diesen vor allem auch die Spurenelemente, wie Cu, Pb, Zn und Ba bestimmt werden sollen.

1) Es sei hier besonders auf das in den jurassischen Kalken (Dogger) des Val Ferret auftretende Pyrit-Galenit-Barytlager von L'Amône hingewiesen (SAHEURS, 1974).

## 5 Schlussfolgerungen für eine geochemische Prospektion in den Alpen

Die bisher erhaltenen Resultate der geochemischen Prospektion zeigen, dass bei der Suche nach gangförmigen Pb-Zn-Barytlagerstätten in den Alpen bei der regionalen und lokalen Übersichtsprospektion und bei Detailuntersuchungen sich folgendes Vorgehen empfiehlt.

### 5.1 REGIONALE ÜBERSICHTSPROSPEKTION

Für eine Übersichtsprospektion, z.B. eine solche, die das ganze Aarmassiv umfasst, eignet sich die geochemische Untersuchung von *Flussedimentproben* bestens.

*Proben aus Flüssen* 2. Ordnung geben bereits in einem Talhintergrund vom Typus des hinteren Lauterbrunnentales ein eindeutiges Resultat. Im vorliegenden Beispiel wären zum Erfassen von Anomalien im Talhintergrund mindestens 19 Proben notwendig. Dies entspricht einer Dichte von 1,5 Proben / km<sup>2</sup> 1). Diese relativ hohe Probendichte ist durch folgende Faktoren bedingt:

- *geochemische Barrieren* (vgl. dazu z.B. das unterschiedliche Verhalten des Zinks im Einzugsgebiet der helvetischen Doggermassen (siehe Seite 33),
- *unterschiedliche Einzugsgebiete* (vgl. dazu z.B. das Verhalten des Bleis in den Sedimenten der Weissen und der Sefinen Lutschine bei Stechelberg (siehe Seite 31),
- *unterschiedliche hydrographische Verhältnisse* (vgl. dazu z.B. das verschiedene Verhalten der Elemente in den verschiedenen Flussordnungen und in diesem Zusammenhang das Problem der „geochemischen Verdünnung“ (siehe Seite 48, aber auch Seite 63 für die Böden)).

Auf Grund der zur Verfügung stehenden Wassermessungen erweisen sich für eine Prospektion mit Flussedimenten die Monate September und Oktober (ev. November, sofern es die Schnee-Verhältnisse erlauben) am geeignetsten.

### 5.2 LOKALE ÜBERSICHTSPROSPEKTION

Die durch eine regionale Übersichtsprospektion aufgefundenen Gebiete anomaler Metallkonzentrationen in den Flussedimenten werden vorteilhaft mit Hilfe von *Bodenuntersuchungen* weiter verfolgt. Zusätzlich ist es nötig, die von den Flüssen nicht erfassten Gebiete mittels Bodenproben zu untersuchen.

1) PLANT (1971) kam für Nordschottland auf Werte von 1 Probe / 2 km<sup>2</sup> aus Flüssen der 2. und 3. Ordnung.

Die Erfahrung zeigt, dass bei Bodenproben optimale Resultate erreicht werden, wenn diese *entlang der Fusswege im Abstände von maximal 100 m entnommen werden*.

Bei der *Interpretation der Resultate* ist an steilen Talhängen, welche eine Abfolge verschiedener Horizonte, wie in unserem Fall Kristallin/autochthone Sedimente, aufweisen, die *gegenseitige geochemische Beeinflussung der Böden* zu berücksichtigen.

### 5.3 DETAILUNTERSUCHUNGEN

Für Detailuntersuchungen, wie z.B. die Bestimmung der Erstreckung von Erzgängen oder die Untersuchung von vermuteten Vererzungs- oder Störungszonen, werden mit *Bodenprofilen* auch in Gebieten mit extremen topographischen Bedingungen ausgezeichnete Resultate erreicht.

Um markante Anomalien aufzufinden, sollten *Probenabstände von 10 m in Bodenprofilen nicht überschritten werden*. Dies ist bedingt durch verschiedene Faktoren, wie z.B. unterschiedliche Bodenbeschaffenheit, die Möglichkeit von nicht repräsentativen Proben und kleine Durchmesser der sekundären Dispersionshöfe.

Bei der Interpretation der Resultate ist, wie bei den Flusssedimentproben und den Bodenproben aus Übersichtsprospektionen, auf die *geochemische Beeinflussung* durch Material aus anderen geologischen Einheiten zu achten.

*Die statistische Berechnung der Daten* hat für alle geologischen, bzw. lithologischen Einheiten *unbedingt getrennt* zu erfolgen.

Abschliessend sei über die Prospektion im Alpengebiet noch folgendes bemerkt.

Bestünde die Absicht, gangförmige Vererzungen vom Typus Trachsellaunen bereits während der ersten Stufe der Erkundungsarbeiten (regionale Übersichtsprospektion, siehe 5.1) feststellen zu wollen, dann müssten unbedingt Flusssediment Untersuchungen an Flüssen 1. Ordnung und zugleich auch ein vollständiges „track-soil-sampling“ – Programm durchgeführt werden! Dieser Aufwand ist jedoch aus ökonomischen Gründen nicht zu verantworten.

Das Abbaurevier Gnadensonne – Gute Hoffnung liegt an einem ausgesprochen bacharmen Abhang. Es ist daher a priori für eine geochemische Prospektion mit Flusssedimenten ungeeignet. Im Rahmen einer regionalen Übersichtsprospektion wäre deshalb ein derartiges Vorkommen mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht gefunden worden. Diese Tatsache spielt aber im Rahmen einer regionalen Übersichtsprospektion *in diesem Falle* keine Rolle. Die Flusssedimentanomalien im Scheuerboden hätten genügt, um die Vererzungen auf dem höher gelegenen, östlichen Talhang im Gebiet von Breitlaunen aufzufinden. Die Feststellung solcher Vererzungen hätte dann konsequenterweise zu einer lokalen Prospektion der Böden an beiden Talhängen bei Trachsellaunen mittels „track-soil-sampling“ geführt. Damit, d.h. erst mit diesem zusätzlichen Aufwand (!), wären dann auch die Vererzungen auf der westlichen Talseite gefunden worden.



# LITERATURVERZEICHNIS

- ACKERMANN, H. (1973): Anwendung einfacher statistischer Methoden bei geochemischen Prospektionsarbeiten. – *Erzmetall*, 26, 161 – 208.
- AGTERBERG, F.P. (1974): *Geomathematics. Mathematical background and geo-science applications*. Elsevier, Amsterdam.
- AGTERBERG, F.P. & KELLY, A.M. (1971): Geomathematical methods for use in prospecting. – *Canad. Min. J.*, Mai 1971, 61 – 72.
- AHRENS, L.H. (1954a): The lognormal distribution of the elements (a fundamental law of geochemistry and its subsidiary). – *Geochim. cosmochim. Acta*, 5, 49 – 73.
- (1954b): The lognormal distribution of the elements (2). – *Geochim. cosmochim. Acta*, 6, 121 – 131.
- ALTHANS, R. (1893): Die Erzformation des Muschelkalkes in Oberschlesien. – *Jb. k. preuss. geol. Landesanst. u. Bergakad. für das Jahr 1891*, 12/2, 37 – 98.
- BAER, A. (1959): L'extrémité occidentale du massif de l'Aar (Relations du socle avec la couverture). – *Soc. Neuchâteloise Sci. nat.*, 82, 1 – 160.
- BAKHTIN, A.I. (1964): On the use of the distribution of copper, lead and zinc contents in geochemical investigations. – *Geochem. int.*, 1964, 1181 – 1184.
- BALTZER, A. (1880): Der mechanische Contact von Gneiss und Kalk im Berner Oberland. – *Beitr. geol. Karte Schweiz*, 20. Liefg.
- (1885): Randerscheinungen der centralgranitischen Zone im Aarmassiv. – *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont.*, 2, 25 – 43.
- BENTZ, A. (Ed.) (1961): *Lehrbuch der angewandten Geologie. Band I: Allgemeine Methoden (Kartierung, Petrographie, Paläontologie, Geophysik, Bodenkunde)*. – Enke, Stuttgart.
- BERNARD, A. (1961): Contribution à l'étude de la province métallifère sous – cévenole. – *Sci. de la Terre*, 7 (1959 – 1960)/3 – 4, 123 – 403.
- BERNSTEIN, K.-H. (1960): Geochemische Prospektion auf Schwespatgänge im Raum Warmbad Wolkenstein (Erzgebirge). – *Z. angew. Geol.*, 1960, 277 – 279.
- BIANCONI, F. & SAAGER, R. (1971): Reconnaissance mineral exploration in the Yukon Territory, Canada. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 51, 139 – 154.
- BIERTHER, W. & DEGENS, E. (1954): Geochemische Untersuchungen im Nebengestein hydrothormaler Erzgänge des Rheinischen Schiefergebirges. – *N. Jb. Geol. Paläont. (Mh.)*, 398 – 411.
- BIØRLYKKE, A., BØLVIKEN, B., EIDSVIG, P. & SVINNDAL, S. (1973): Exploration for disseminated lead in southern Norway. In: JONES, M.J. (Ed.): *Prospecting in areas of glacial terrain* (p. 111 – 126). – I.M.M., London.
- BOLTER, E., TUREKIAN, K.K. & SCHUTZ, D.F. (1964): The distribution of rubidium, cesium and barium in the oceans. – *Geochim. cosmochim. Acta*, 28, 1459 – 1466.
- BØLVIKEN, B. (1967): Recent geochemical prospecting in Norway. In: KVALHEIM, A. (Ed.): *Geochemical Prospecting in Fennoscandia* (p. 225 – 253). – Wiley, New York.
- (1971): A statistical approach to the problem of interpretation in geochemical prospecting. In: BOYLE, R.W. (Ed.): *Geochemical Exploration 1970* (p. 564 – 567). – Spec. Vol. 11, C.I.M.M., Montreal.
- BØLVIKEN, B. & SINDING-LARSEN, R. (1973): Total error and other criteria in the interpretation of stream-sediment data. In: JONES, M.J. (Ed.): *Geochemical Exploration 1972* (p. 285 – 295). – I.M.M., London.
- BOROVKO, N.N. (1964): Generalized lognormal distribution of elements in rocks and ores. – *Geochem. int.*, 1964, 246 – 250.
- BÖTTCHER, H. & TISCHENDORF, G. (1969): Zur Anwendung der Diskriminanzanalyse in der Geochemie. – *Z. angew. Geol.*, 15, 181 – 184.
- BOYLE, R.W. (Ed.) (1971): *Geochemical Exploration 1970. Proceedings, 3rd int. Geochemical Exploration Symposium*, Toronto, April 16 – 18, 1970. – The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Spec. Vol. 11, Montreal.
- BOYLE, R.W. & DASS, A.S. (1967): Geochemical prospecting – use of the A horizon in soil surveys. – *Econ. Geol.*, 62, 274 – 276.
- BOYLE, R.W., SHAFIQUILLAH, M. & DURHAM, C.C. (1968): Minor and trace element distribution in the heavy minerals of the rivers and streams of the Bathurst – Jacquet River District, New Brunswick. – *Bull. geol. Surv. Canada*, Paper 67 – 45.
- BOYLE, R.W., TUPPER, W.M., LYNCH, J., FRIEDRICH, G., ZIAUDDIN, M., SHAFIQUILLAH, M., CARTER, M. & BYGRAVE, K. (1966): Geochemistry of Pb, Zn, Cu, As, Sb, Mo, Sn, W, Ag, Ni, Co, Cr, Ba and Mn in the waters and stream sediments of the Bathurst-Jacquet River District, New Brunswick 21P / 12, 21P / 13, 21O / 9 E, 21O / 16 E. – *Bull. geol. Surv. Canada*, Paper 65 – 42.
- BRADSHAW, P.M.D. (1967): Distribution of selected elements in feldspar, biotite and muscovite from British granites in relation to mineralization. – *Trans. Instn. Min. Metall, Sect. B*, B 137 – B 148.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J.R. (1970): Some trends in pedology. – *Earth – Sci. Rev.*, 6, 297 – 335.
- BROCKAMP, O. (1973): Zur Metallogenese der Bleiglanzbank im mittleren Keuper Südwestdeutschlands. – *N.Jb. Mineral. (Mh.)*, 461 – 473.
- BROOKS, R.R. (1972): *Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration*. – Harper & Row, New York.
- BROTZEN, O. (1967): Geochemical prospecting in northern Sweden. – In: KVALHEIM, A. (Ed.): *Geochemical Prospecting in Fennoscandia* (p. 203 – 223). – Wiley, New York.
- BROWN, B.W. (1970): Error in lead anomalous stream sediments. – *Econ. Geol.*, 65, 514 – 515.
- BROWNLIE, K.A. (1965): *Statistical Theory and Methodology (in Science and Engineering)*. – Wiley, New York.
- BRUDERER, W. (1924): Les sédiments du bord septentrional du Massif de l'Aar du Trias à l'Argovien. – *Bull. Lab. Géol. etc. Univ. Lausanne*, No. 37.
- BRUNDIN, N.H. (1969): Some experiences in heavy mineral prospecting. – *Quart. Colorado School Mines*, 64, 89 – 94.

- BRUNDIN, N.H. & NAIRIS, B. (1972): Alternative sample types in regional geochemical prospecting. — *J. geochem. Explor.*, 1, 7 – 46.
- BUXTORF, A. & TRUNINGER, E. (1909): Über die Geologie der Doldenhorn-Fisistockgruppe und den Gebirgsbau am Westende des Aarmassivs. — *Verh. natf. Ges. Basel*, 20/2, 135 – 179.
- CACHAU-HERREILLAT, F. (1969): Geochemical prospecting for lead-zinc stratiform deposits. Non-linear correlations between the content of soils in lead and zinc and their use in separating stratiform and hydrothermal deposits. — *Quart. Colorado School Mines*, 64, 95 – 110.
- CADISCH, J. (1939): Die Erzvorkommen am Calanda. — *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser., klein. Mitt.*, Nr. 7.
- (1953): *Geologie der Schweizer Alpen* (2. Aufl.) — Wepf, Basel.
- CANNEY, F.C. (Ed.) (1969): International Geochemical Exploration Symposium, April 17 – 20, Colorado School of Mines. — *Quart. Colorado School Mines*, 64/1.
- CHAN, S.S.M. (1969): Suggested guides for exploration from geochemical investigation of ore veins at the Galena Mine Deposits, Shoshone County, Idaho. — *Quart. Colorado School Mines*, 64/1, 139 – 168.
- CHAYES, F. (1971): *Ratio Correlation*. — University of Chicago Press, Chicago.
- CHERNYSHEV, I.V. & SHANIN, L.L. (1964): Criteria of representativeness of samples in geochemical investigations. — *Geochem. int.*, 1964, 994 – 999.
- COLLET, L.W. & PAREJAS, Ed. (1931): *Géologie de la Chaîne de la Jungfrau*. — *Beitr. geol. Karte Schweiz, NF*, 63, Liefg.
- DAHLBERG, E.C. (1969): Use of model for relating geochemical prospecting data to geologic attributes of a region, South Mountain, Pennsylvania. — *Quart. Colorado School Mines*, 64/1, 195 – 216.
- DAHME, H.-D. & PIETZNER, H. (1966): Geochemische Untersuchungen an limonitischen Gangausbissen im Raum Niedersfeld (Sauerland). — *Forschber. Nordrh. – Westf.*, No. 1657.
- DONOVAN, P.R. (1965): Geochemical dispersion in relation to base metal deposits in glacial terrain in west-central Eire. — PhD Thesis, Univ. London, Royal School of Mines.
- DUBOV, R.I. (1973): A statistical approach to the classification of geochemical anomalies. In: JONES, M.J. (Ed.): *Geochemical Exploration 1972* (p. 275 – 284). — I.M.M., London.
- ELLIS, A.J., TOOMS, J.S., WEBB, J.S. & BICKNELL, J.V. (1967): Application of solution experiments in geochemical prospecting. — *Trans. Instr. Min. Metall.*, 76, B 25 – B 39.
- ENGELHARDT, W. von (1936): Die Geochemie des Bariums. — *Chemie d. Erde*, 10, 187 – 246.
- EPPRECHT, W. (1958): Unbekannte schweizerische Eisenerzgruben sowie Inventar und Karte aller Eisenerz- und Manganerz-Vorkommen der Schweiz. — *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 37/2, 217 – 246.
- ERIKSSON, K. (1973): Prospecting in an area of central Sweden. — In: JONES, M.J. (Ed.): *Prospecting in areas of glacial terrain* (p. 83 – 86). — I.M.M., London.
- ESCHER, H.C. (1807): Materialien zu einer naturhistorisch-technischen Geschichte des Bergbaus bey Trachsellauinen im Hintergrund des Lauterbrunnerthals im Canton Bern, am Ende des achtzehnten Jahrhunderts. — *Alpina*, 2, 236 – 324.
- ESCHER VON DER LINTH, A. (1839): Erläuterung der Ansichten einiger Contactverhältnisse zwischen krystallinischen Feldspathgesteinen und Kalk im Berner Oberlande. 1) Ansicht der Jungfrau. 2) Ansicht des Wetterhorns und des Mettenberges von der Westseite. 3) Stellihorn. 4) Laubstock und Pfaffenkopf. — *N. Denkschr. schweiz. Ges. Natw.*, 3, 1 – 13.
- FAIRBRIDGE, R.W. (Ed.) (1968): *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold, New York.
- (1972): *The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences*. — Van Nostrand Reinhold, New York.
- FAWORSKAJA, M.A. & TOMSON, I.N. (1969): Wissenschaftliche Grundlagen für Sucharbeiten auf Erzlagerstätten. — *Z. angew. Geol.*, 15/8, 397 – 403.
- FELLENBERG, Edm. von (1881): Die Kalkkeile am Nord- und Südrande des westlichen Theiles des Finsteraarhornmassivs. — *Mitt. natf. Ges. Bern, Separatdruck* (1 – 27).
- (1887): Sur les gisements de spath fluor dans les alpes calcaires et dans le Jura. — *Arch. Sci. phys. nat. (Genève)*, 18, 364 – 366.
- (1891): Über den Flusspath von Oltschenalp und dessen technische Verwerthung. Ein historisch-naturwissenschaftliches Memorandum für spätere Zeiten. — Separat Abdruck aus den *Mitt. natf. Ges. Bern*, Buchdruckerei K.J. Wyss, 20 Seiten (Orig. 1890, 202 – 219).
- FELLENBERG, Edm. von & MÖSCH, C. (1893): Geologische Beschreibung des westlichen Theils des Aarmassivs, enthalten auf dem nördlich der Rhone gelegenen Theile des Blattes XVIII der Dufour-Karte. — *Beitr. geol. Karte Schweiz*, 21, Liefg.
- FITZPATRICK, E.A. (1971): *Pedology. A systematic approach to soil science*. — Oliver & Boyd, Edinburgh.
- FLETCHER, K.W. & DOYLE, D.J. (1971): Regional geochemistry of the Hess Mountains and Eastern Yukon Plateau. — *Canad. min. metall. Bull.*, 64, Oct., 61 – 67.
- FLINT, R.F. (1971): *Glacial and quaternary Geology*. — Wiley, New York.
- FORGERON, F.D. (1971): Soil geochemistry in the canadian shield. — *Canad. min. metall. Bull.*, 64, Nov., 37 – 42.
- FREY, J.D. (1967): Geologie des Greinagebietes (Val Camadra – Valle Cavallasca – Val di Larciolo – Passo della Greina). — *Beitr. geol. Karte Schweiz, NF*, 131, Liefg.
- FREY, M. (1968): Quartarschiefer, Equisetenschiefer und germanischer Keuper – ein lithostratigraphischer Vergleich. — *Eclogae geol. Helv.*, 61/1, 141 – 156.
- (1969): Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmanier – Gebiet (Veränderungen tonig-mergeliger Gesteine vom Bereich der Diagenese bis zur Stauroolith-Zone). — *Beitr. geol. Karte Schweiz, NF*, 137, Liefg.

- FRIEDLÄNDER, C. (1930): Erzvorkommnisse des Bündner Oberlandes und ihre Begleitgesteine. — Beitr. Geol. Schweiz. geotech. Ser., 16. Liefg. (1).
- FRIEDRICH, G.H. (1970): Über die Dispersion von Quecksilber in Böden im Bereich einiger Flussspatvorkommen von Nabburg-Wölsendorf. — Erzmetall, 23, 482 – 486.
- FRIEDRICH, G.H. & HAWKES, H.E. (1966): Mercury dispersion halos as ore guides for massive sulfide deposits, West Shasta District, California. — Mineralium Depos., 2, 77 – 88.
- FRIEDRICH, G.H. & PLUGER, W.L. (1971): Geochemical prospecting for barite and fluorite deposits. In: BOYLE, R.W. (Ed.): Geochemical Exploration 1970 (p. 151 – 156). Spec. Vol. 11, C.I.M.M., Montreal.
- FRIEDRICH, O.M. (1953): Zur Erzlagerstättenkarte der Ostalpen. Eine Einführung zur Karte 1:500'000 der Erz- und einiger Mineral-Lagerstätten. — Radex – Rdsch., H. 7/8, 371 – 407.
- FRUTH, I. (1962): Anwendungsmöglichkeiten geochemischer Prospektion im Bereich der Grube „Bayerland“. — Chemie d. Erde, 21, 1961/62, 48 – 96.
- GALKIEWICZ, T. (1967): Genesis of Silesian-Cracovian Zinc-Lead deposits. — Econ. Geol., Monogr. 3, 156 – 168.
- GANSSEN, R. (1965): Grundsätze der Bodenbildung. Ein Beitrag zur theoretischen Bodenkunde. — HTB 327. Bibliographisches Institut, Mannheim.
- GARRETT, R.G. (1969): The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. — Econ. Geol., 64, 568 – 574.
- (1973): The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry – a reply. — Econ. Geol., 68, 282 – 283.
- GARRETT, R.G. & NICHOL, I. (1969): Factor analysis as an aid in the interpretation of regional geochemical stream sediment data. — Quart. Colorado School Mines, 64/1, 245 – 264.
- GEHLEN, K. von & NIELSEN, H. (1969): Schwefel – Isotope aus Blei-Zink-Erzen von Oberschlesien. — Mineralium Depos. 4/3, 308 – 310.
- GEOFFROY, J. de & WIGNALL, T.K. (1970): Statistical decision in regional exploration: Application of regression and Bayesian classification analysis in the Southwest Wisconsin Zinc area. — Econ. Geol. 65, 769 – 777.
- GEOFFROY, J. de & WU, S.M. (1970): Design of a sampling plan for regional geochemical surveys. — Econ. Geol., 65, 340 – 347.
- GERBER, Ed. (1907): Über das Vorkommen von Rhät in den Zwischenbildungen des Lauterbrunnentales. — Mitt. natf. Ges. Bern, 68 – 70.
- (1909): Über Facies und Deckenbildung zwischen Kiental und Lauterbrunnental. — Mitt. natf. Ges. Bern, 128 – 153.
- (1915): Rhätfossilien aus den Zwischenbildungen von Trachsellauenen im Lauterbrunnental. — Eclogae geol. Helv., 13 (1914/15), 366.
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1968): Einführung in die Geologie von Baden-Württemberg. — Schweizerbart, Stuttgart.
- GINSBURG, I.I. (1963): Grundlagen und Verfahren geochemischer Sucharbeiten auf Lagerstätten der Buntmetalle und seltenen Metalle. — Akademie, Berlin.
- GINZBURG, I.I., MUKANOV, K.M. & POLUZEROV, N.P. (1960): Copper and lead in the soils of the Uspenskoe Copper Deposit of Central Kazakhstan. — Geochem., engl. Transl., 402 – 411.
- GLEESON, C.F. & TUPPER, W.M. (1967): Coding system and data cards used in reconnaissance geochemical surveys. — Trans. Instn. Min. Metall., 76, B 52 – B 54.
- GMELIN (1960): Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl.: Barium, Ergänzungsband, Systemnummer 30. — Chemie, Weinheim.
- GOLDSCHMID, K. (1926): Geologie der Morgenberghorn-Schwalmerengruppe bei Interlaken. — Mitt. natf. Ges. Bern, 193 – 272.
- GOVETT, G.J.S. (1960): Geochemical prospecting for copper in Northern Rhodesia: variation in the concentration of secondarily dispersed copper in soils and stream sediments due to differences in physical-chemical properties of the sample materials. — Int. geol. Congr., Rep. 21st Sess., Norden (Copenhagen) 1960, part II: 44 – 56.
- (1961): Seasonal variation in the copper concentration in drainage systems in Northern Rhodesia. — Trans. Instn. Min. Metall., 70, 177 – 189.
- (1973): Geochemical exploration studies in glaciated terrain, New Brunswick, Canada. In: JONES, M.J. (Ed.): Prospecting in areas of glacial terrain (p. 11 – 24). — I.M.M., London.
- GRAESER, S. (1971): Mineralogisch-geochemische Untersuchungen an Bleiglanz und Zinkblende. — Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 51/2 – 3, 415 – 442.
- GRANIER, C.L. (1973): Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères. — Masson, Paris.
- GRASMÜCK, P. (1961): Die helvetischen Sedimente am Nordostrand des Mont-Blanc-Massivs (zwischen Sembrancher und dem Col Ferret). — Eclogae geol. Helv., 54, 351 – 450.
- GRIFFITHS, J.C. (1970): Current trends in geomathematics. — Earth-Sci. Rev., 6, 121 – 140.
- GRIGORJAN, S.W. & JANISCHEWSKIJ, E.M. (1969): Die endogenen geochemischen Aureolen der Erzlagerstätten und ihre Nutzung beim Aufsuchen verborgener Vererzungen. — Z. angew. Geol., 15/4, 184 – 187.
- GRODDECK, A. von (1879): Die Lehre von den Lagerstätten der Erze; Ein Zweig der Geologie. — Leipzig.
- GRUNER, G.S. (1760): Die Eisgebirge des Schweizerlandes. — A. Wagner Sohn, Bern.
- GRUSZCZYK, H. (1967): The genesis of the Silesian-Cracow deposits of lead-zinc ores. — Econ. Geol. Monogr. 3, 169 – 177.
- GRUZA, V.V. (1965): An investigation of petrochemical characteristics of rocks of similar composition by the methods of mathematical statistics. — Geochem. int., 2, 88 – 91.
- GRYS, A. de (1961): Copper, lead and zinc in rivers draining Chilean Andes. — Econ. Geol., 56, 1456 – 1464.
- (1962): Seasonal variations in copper content in some Andean streams of central Chile. — Econ. Geol., 57, 1031 – 1044.
- GÜNZLER-SEIFFERT, H. (1925): Der geologische Bau der östlichen Faulhorngruppe im Berner-Oberland. — Eclogae geol. Helv., 19/1, 1 – 87.



- (1932): Die Tektonik der Wildhorndecke auf Blatt Lauterbrunnen des geologischen Atlas der Schweiz. – *Eclogae geol. Helv.*, 25, 235 – 237.
  - (1941a): Persistente Brüche im Jura der Wildhorn-Decke des Berner Oberlandes. – *Eclogae geol. Helv.*, 34/2, 164 – 172.
  - (1941b): Die Unterfläche der Wildhorn-Decke zwischen Kien und Aare. – *Eclogae geol. Helv.*, 34, 172 – 176.
  - (1944): Über den Mechanismus einiger liegender Falten. – *Eclogae geol. Helv.*, 37/2, 433 – 437.
  - (1945): Probleme der Gebirgsbildung. – *Mitt. natf. Ges. Bern*, NF, 3, 13 – 31.
  - (1946): Ein jungkimmerischer Querbruch in der östlichen Faulhorngruppe. – *Eclogae geol. Helv.*, 39/2, 254 – 256.
  - (1952): Alte Brüche im Kreide/Tertiär-Anteil der Wildhorndecke zwischen Rhone und Rhein. – *Geol. Rdsch.*, 40, 211 – 239.
- GWINNER, M.P. (1971): *Geologie der Alpen. Stratigraphie, Paläogeographie, Tektonik.* – Schweizerbart, Stuttgart.

HASELOFF, O.W. & HOFFMANN, H.J. (1965): *Kleines Lehrbuch der Statistik* (2. Aufl.). – W. de Gruyter, Berlin.

HAWKES, H.E. & BLOOM, H. (1956): Heavy metals in stream sediment used as exploration guides. – *Trans. amer. Inst. min. Eng.*, 1121 – 1127.

HAWKES, H.E. & SALMON, M.L. (1960): Trace elements in organic soil as a guide to copper ore. – *Int. geol. Congress, Rep. 21st Sess., Norden (Copenhagen), part II*, 38 – 43.

HAWKES, H.E. & WEBB, J.S. (1962): *Geochemistry in mineral exploration.* – Harper & Row, New York.

HEIM, Alb. (1919 – 23): *Geologie der Schweiz.* – Tauchnitz, Leipzig.

HEIM, Alb. & HEIM, Arn. (1916): Die Juralmulde im Aarmassiv bei Fernigen (Uri). – *Vjschr. natf. Ges. Zürich*, 61. Jg., 503 – 530.

HELGERS, J.H. Ed. (1905): *Beiträge zur Geologie der westlichen Gehänge des Lauterbrunnenthales.* – Diss. Univ. Bern.

HILMER, E., PROKOP, F.W. & SCHIEBEL, W. (1974): Erfahrungen bei der Prospektion und Exploration auf Kupfervorkommen im Gebiet von Murgul, Nordost-Türkei. – *Erzmetall*, 27/3, 117 – 126.

HOLENWEIG, H. (1967): Mineralparagenesen im Schweizer Jura. – *TätBer. natf. Ges. Baselland*, 25, 135 – 159.

– (1968): Zinkblende im Schweizer Jura. – *Urner Mineralien-Freund*, 6/3, 25 – 28.

– (1969): Mineralparagenesen im Schweizer Jura. – *Schweizer Strahler*, 4, 303 – 308.

HORNBROOK, E.H.W. (1971): Effectiveness of geochemical and biogeochemical exploration methods in the Cobalt area, Ontario. In: BOYLE, R.W. (Ed.): *Geochemical Exploration 1970* (p. 435 – 443). – Spec. Vol. 11, C.I.M.M., Montreal.

HORSNAIL, R.F., NICHOL, I. & WEBB, J.S. (1969): Influence of variations in secondary environment on the metal content of drainage sediments. – *Quart. Colorado School Mines* 64/1, 307 – 322.

HORTON, R.E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. – *Bull. geol. Soc. Amer.*, 56/3, 275 – 370.

HUBAUX, A. (1961): Représentation graphique des distributions d'oligo-éléments. – *Ann. Soc. géol. Belg.*, t. LXXXIV, 279 – 296.

HUFF, L.C. (1952): Abnormal copper, lead and zinc content of soil near metalliferous veins. – *Econ. Geol.*, 47, 517 – 542.

HUGI, E. (1915): Kontaktschollen im Gneis des obern Lauterbrunnenthales. – *Eclogae geol. Helv.*, 13/3, 359 – 365.

HUGI, Fr. Jos. (1830): *Naturhistorische Alpenreise.* – Solothurn.

HÜGI, Th. (1941): Zur Petrographie des östlichen Aarmassivs (Bifertengletscher, Limmernboden, Vättis) und des Kristallins von Tamins. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 21, 1 – 120.

– (1956): Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. – *Beitr. geol. Karte Schweiz*, NF, 94. Liefg.

HÜGI, Th., QUERVAIN, F. de & HOFMÄNNER, F. (1962): Übersichtskarte der Uran- und Thorium-Mineralisationen der Westalpen 1:500'000 (mit Erläuterungen). – *Schweiz. geotech. Komm.*, Zürich.

HÜGI, Th. & RÖWE, D. (1970): Berylliumminerale und Berylliumgehalte granitischer Gesteine der Alpen. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 50, 445 – 480.

HUTTENLOCHER, H.F. (1926): Metallogene und Metallprovinzen der Alpen. – *Metall und Erz*, 23 (NF: 14), H. 22, 607 – 612.

– (1931): Die Blei-Zinklagerstätten von Goppenstein (Wallis). – *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser.*, 16. Liefg., H. 2.

– (1934): Die Erzlagerstättenzonen der Westalpen. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 14/1, 22 – 149.

– (1953): Die Vererzung der Westalpen, ihre zeitliche und räumliche Gliederung. – *Geol. Rdsch.*, 42/1, 93 – 107.

HYVÄRINEN, L. (1967): Geochemical prospecting for lead ores at Korsnäs. In: KVALHEIM, A. (Ed.): *Geochemical Prospecting in Fennoscandia* (p. 171 – 179). – Wiley, New York.

JÄGER, E. (1973): Die alpine Orogenese im Lichte der radiometrischen Altersbestimmung. – *Eclogae geol. Helv.*, 66/1, 11 – 21.

JAMES, C.H. (1970): A rapid method for calculating the statistical precision of geochemical prospecting analysis. – *Trans. Instn. Min. Metall.*, No. 762, B 88 – B 90.

JENNI, J.-P. (1969): Die Mineralagerstätten in der NW-Flank des Bristenstocks. Beiträge zur Bergbaugeschichte, Petrographie und Mineralogie der Bleiglanz-Kupferkies-Zinkblende Vererzungen und der Alaun-Lagerstätte bei Amsteg (Kt. Uri). – *Licentiatsarb. Univ. Bern* (unpubl.).

– (1972): Die Vorkommen von Bleiglanz, Kupferkies und Zinkblende des Bristenstocks (Kt. Uri) als Beispiel schwach metamorph überprägter Vererzungen. Mit einem Anhang über geochemische Prospektionsmethoden im alpinen Gelände. – *Diss. Univ. Bern* (unpubl.).

– (1973): Die Vorkommen von Bleiglanz, Kupferkies und Zinkblende des Bristenstocks (Kt. Uri). Als Beispiel schwach metamorph überprägter Vererzungen. Mit einem Anhang über geochemische Prospektionsmethoden im alpinen Gelände. – *Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Ser.*, 53. Liefg.

JONES, M.J. (Ed.) (1973a): *Geochemical Exploration 1972. Proceedings of the 4th International Geochemical Exploration Symposium, London, 17 – 20 April, 1972.* – The Institution of Mining and Metallurgy, London.

– (1973b): *Prospecting in areas of glacial terrain. Papers presented at the symposium held in Trondheim, 21 – 22 Aug., 1973.* – The Institution of Mining and Metallurgy, London.



- KEIL, K. (1956): Die Genesis der Blei-Zinkerzlagertstätten von Oberschlesien (Górny Śląsk – Polen). – *Geologie, Beih.* 15.
- KIELY, P.V. & FLEMING, G.A. (1969): Geochemical survey of Ireland: Meath – Dublin Area. – *Proc. r. Irish Acad.*, 68, Sect. B, No. 1.
- KING, C.A.M. (1971): *Techniques in Geomorphology*. – Edw. Arnold, London.
- KLEIN, W. & MARTIN, G. (1965): Geochemische Untersuchungen im Boden über hydrothermalen Erzgängen des Taunus-Ostrandes (Rheinisches Schiefergebirge). – *Notizbl. hess. Landesamt Bodenforsch. Wiesbaden*, 93, 311 – 321.
- KOCH, G.S. & LINK, R.F. (1970): *Statistical analysis of geological data*. – Wiley, New York.
- (1971a): *Statistical analysis of geological data (vol. II)*. – Wiley, New York.
- (1971b): The coefficient of variation – a guide to the sampling of ore deposits. – *Econ. Geol.*, 66, 293 – 301.
- KOEHN, Ph. (1966): Contribution géochimique à l'étude du gîte d'or et d'arsenic de Salanfe (Valais). – *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser., klein. Mitt.*, No. 38.
- KRAMERS, J.D. (1973): Zur Mineralogie, Entstehung und alpinen Metamorphose der Uranvorkommen bei Trun, Graubünden. – *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser.*, 52, Liefg.
- KRAUSKOPF, K.B. (1967): *Introduction to geochemistry*. – McGraw-Hill, New York.
- KREBS, J. (1925): Geologische Beschreibung der Blümlisalp-Gruppe. – *Beitr. geol. Karte Schweiz, NF*, 54, Liefg., III. Abt.
- KREITER, V.M. (1968): *Geological Prospecting and Exploration*. – MIR Publishers, Moscow.
- KROON, T.P. & GRYS, A. de (1970): A geochemical drainage survey in Central Ecuador. – *Econ. Geol.*, 65, 557 – 563.
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F.A. (1965): *An introduction to statistical models in geology*. – McGraw-Hill, New York.
- KRUMMENACHER, D. (1959): Le cristallin de la région de Fully (Valais). – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 39/1, 151 – 266.
- KUBIŠNA, W.L. (1953): *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. – Enke, Stuttgart.
- KULMS, M. & FRIEDRICH, G. (1970): Geochemische Untersuchungen der Böden im Lagerstättengebiet Bleialf/Eifel. – *Geol. Mitt. (Aachen)*, 10, 305 – 332.
- KULMS, M. & SIEMENS, H. (1970): Die Anwendung der „Trend-Surface-Analysis“ im Rahmen geochemischer Untersuchungsarbeiten. – *Erzmetall*, 23, 371 – 378.
- KÜNDIG, E. & QUERVAIN, F. de (1953): *Fundstellen mineralischer Rohstoffe der Schweiz. (Mit Übersichtskarte 1:600'000)*. – 2. Aufl., Kommissionsverlag: Kümmerly & Frey, Bern.
- KVALHEIM, A. (Ed.) (1967): *Geochemical Prospecting in Fennoscandia*. – Wiley, New York.
- LAATSCH, W. (1954): *Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden*. – Steinkopff, Dresden und Leipzig.
- LABHART, T.P. (1965): Petrotektonische Untersuchungen am Südrand des Aarmassivs nördlich Naters (Wallis, Schweiz). – *Beitr. geol. Karte Schweiz, NF*, 124, Liefg.
- (1966): Mehrphasige alpine Tektonik am Nordrand des Aarmassivs. Beobachtungen im Druckstollen Trift-Speicherberg (Gadmental) der Kraftwerke Oberhasli AG. – *Eclogae geol. Helv.*, 59/2, 803 – 830.
- (1967): Die Uranvererzungen am Südrand des Aarmassivs bei Naters (Kt. Wallis, Schweiz). – *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser.*, 43, Liefg.
- (1968): Der Bau des nördlichen Aarmassivs und seine Bedeutung für die alpine Formungsgeschichte des Massivraumes. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 48/2, 525 – 537.
- LAFFITTE, P. (1966): La métallogénie de la France. – *Bull. Soc. géol. France*, (7), 8, 53 – 72.
- LAFFITTE, P. (Ed.) (1972): *Traité d'informatique géologique*. – Masson, Paris.
- LANG, A.H. (1966): *Prospecting in Canada*. – *Bull. geol. Surv. Canada, econ. Geol. Ser. No.* 7.
- LANGFORD, F.F. (1965): A method to evaluate the probability of success of a geochemical survey. – *Econ. Geol.*, 60, 360 – 372.
- LEPEL TIER, C. (1969): A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. – *Econ. Geol.*, 64, 538 – 550.
- LEVINSON, A.A. (1974): *Introduction to Exploration Geochemistry*. – Applied Publishing Ltd., Calgary.
- LIECHTI, P. (1931): Geologische Untersuchung der Dreispitz-Standfluhgruppe und der Flyschregion südlich des Thunersees. – *Mitt. natf. Ges. Bern*, 1930, 75 – 206.
- LOUIS, K. (1924): Beiträge zur Geologie der Männlichengruppe im Berner Oberland. – *Diss. Univ. Bern (unpubl.)*.
- LOUP, G. & WOODTLI, R. (1965a): Une prospection géochimique stratégique dans la région d'Alesses (Valais). – *Bull. Lab. Géol. etc. Mus. géol. Univ. Lausanne*, No. 157, 1 – 6.
- (1965b): Deux exemples de prospection géochimique en Valais: sur l'indice de Cocorier et sur la mine de Bruson. – *Bull. Lab. Géol. etc. Mus. géol. Univ. Lausanne*, No. 157, 7 – 15.
- (1966): Quatre profils géochimiques à travers le Jura vaudois. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 46, 253 – 255.
- LUTZENS, H. & ZIMMERMANN, G. (1974): Zur Anwendung pedogeochemischer Untersuchungen bei der Suche und Erkundung von Fluoritgängen unter Lockermassenbedeckung im Unterharz. – *Z. angew. Geol.*, 20, 1 – 8.
- MACK, E. (1958): Geochemische Untersuchungen am Nebengestein und an den Begleitwässern ostalpiner Blei-Zink-Lagerstätten. – *Berg- u. hüttenmänn. Mh. montan. Hochsch. Leoben*, 103, 51 – 58.
- MALYUGA, D.P. (1964): *Biogeochemical Methods of Prospecting*. – Transl. russ.; Consultants Bureau, New York.
- MARSAL, D. (1967): *Statistische Methoden für Erdwissenschaftler*. – Schweizerbart, Stuttgart.
- 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): Application de la théorie géochimique du bassin versant. – *Ann. Soc. géol. Belg.*, 94, 277 – 293.
- MATHERON, G. (1962): *Traité de géostatistique appliquée. Tome I*. – *Mém. Bur. Rech. géol. min.*, No. 14, Orléans.
- (1963): *Traité de géostatistique appliquée. Tome II: Le krigeage*. – *Mém. Bur. Rech. géol. min.*, No. 24, Orléans.
- Mc CARTNEY, W.D. & Mc LEOD, C.R. (1965): Preliminary application of heavy mineral analyses to metallogeny of carboniferous areas, Nova Scotia and New Brunswick. – *Bull. geol. Surv. Canada, Paper* 64 – 29.
- Mc COLLOUGH, C. & ATTA, L. van (1972): *Statistik programmiert*. – Beltz, Weinheim und Basel.
- McL. MICHIE, U. (1973): The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. – *Econ. Geol.*, 68, 281 – 282.

- MEHRTENS, M.B. & TOOMS, J.S. (1973): Geochemical drainage dispersion from sulphide mineralization in glaciated terrain, Central Norway. In: JONES, M.J. (Ed.): Prospecting in areas of glacial terrain (p. 1 – 10). – I.M.M., London.
- MEHRTENS, M.B., TOOMS, J.S. & TROUP, A.G. (1973): Some aspects of geochemical dispersion from base-metal mineralization within glaciated terrain in Norway, North Wales and British Columbia, Canada. In: JONES, M.J. (Ed.): Geochemical Exploration 1972 (p. 105 – 115). – I.M.M., London.
- METZ, K. (1967): Lehrbuch der tektonischen Geologie (2. Aufl.). – Enke, Stuttgart.
- MIESCH, A.T. (1967): Theory of error in geochemical data (Statistical studies in field geochemistry). – Geol. Surv. prof. pap. 574 – A, Washington.
- MILLER, R.L. & GOLDBERG, E.D. (1955): The normal distribution in geochemistry. – Geochim. cosmochim. Acta., 8, 53 – 62.
- MILLER, R.L. & KAHN, J.S. (1967): Statistical analysis in the geological sciences. – Wiley, New York.
- MOENKE, H. & MOENKE, L. (1965): Optische Bestimmungsverfahren und Geräte für Mineralogen und Chemiker. – Tech.-phys. Monogr., 16; Akad. Verlagsges. Geest & Portig, Leipzig.
- MORGENTHAUER, H. (1921): Petrographisch-tektonische Untersuchungen am Nordrand des Aarmassivs. – Eclogae geol. Helv., 16, 179 – 217.
- MORONEY, M.J. (1970): Facts from figures. – Penguin Books Ltd., Harmondsworth, England.
- MORRISSEY, C.J. & ROMER, D.M. (1973): Mineral exploration in glaciated regions of Ireland. In: JONES, M.J. (Ed.): Prospecting in areas of glacial terrain (p. 45 – 54). – I.M.M., London.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1961): Bodenkundliche Untersuchungsmethoden. In: BENTZ, A. (Ed.): Lehrbuch der angewandten Geologie, Bd. I (p. 957 – 1057). – Enke, Stuttgart.
- MÜLLER, F. (1938): Geologie der Engelhörner, der Aareschlucht und der Kalkkeile bei Innertkirchen (Berner Oberland). – Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 74, Liefg.
- MÜLLER, Rud. O. (1967): Spektrochemische Analysen mit Röntgenfluoreszenz. Theorie und industrielle Anwendung. – Oldenbourg, München u. Wien.
- MÜLLER-KAHLE, E. (1966): Geochemische Lagerstättenprospektion in der Provinz Mendoza, Argentinien. – Erzmetall, 19, 330 – 339.
- (1972): Geochemische Untersuchungen am „porphyry copper“ – Vorkommen Chaucha, Ekuador. – Erzmetall, 25, 275 – 281.
- NEIDINGER, E.A. (1951): Petrographische Untersuchungen im oberen Lauterbrunnental (Berner Oberland). – Diss. Univ. Bern, 1948. Geissendörfer, Karlsruhe.
- NICHOL, I., GARRETT, R.G. & WEBB, J.S. (1966): Studies in regional geochemistry. – Trans. Instn. Min. Metall., 75, B 106 – B 107.
- NICHOL, I., 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, 204 – 220.
- NICHOL, I., HORSNAIL, R.F. & WEBB, J.S. (1967): Geochemical patterns in stream sediments related to precipitation of manganese oxides. – Trans. Instn. Min. Metall., 76, B 113 – B 115.
- NIGGLI, E. (gen. coord.) (1973): Metamorphic map of the Alps, 1:1'000'000. In: Metamorphic map of Europe, 1:1'000'000 (sheet 17). – The Sub-Commission for Cartography of the Metamorphic Belts of the World, Leiden and UNESCO, Paris.
- NIGGLI, E. & NIGGLI, C.R. (1965): Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen (Stilpnomelan, Alkali-Amphibol, Chloritoid, Staurolith, Disthen, Sillimanit). – Eclogae geol. Helv., 58/1, 335 – 368.
- NIGGLI, P. (1923): Anwendungen der mathematischen Statistik auf Probleme der Mineralogie und Petrologie. – N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. (Beilbd.), 48, 167 – 222.
- NIGGLI, P., KOENIGSBERGER, J. & PARKER, R.L. (1940): Die Mineralien der Schweizer Alpen. Band I. – Wepf, Basel.
- NOLL, W. (1934): Geochemie des Strontiums. Mit Bemerkungen zur Geochemie des Bariums. – Chemie d. Erde, 8, 1933/34, 507 – 600.
- OBIAL, R.C. (1970): Cluster analysis as an aid in the interpretation of multi-element geochemical data. – Trans. Instn. Min. Metall., 79, B 175 – B 180.
- OBIAL, R.C. & JAMES, C.H. (1973): Use of cluster analysis in geochemical prospecting, with particular reference to Southern Derbyshire, England. In: JONES, M.J. (Ed.): Geochemical Exploration 1972 (p. 237 – 257). – I.M.M., London.
- OERTEL, A.C. (1969): Frequency distributions of element concentrations – I. Theoretical aspects. – Geochim. cosmochim. Acta, 33, 821 – 831.
- OFTEDAL, I. (1958): On the distribution of strontium and barium in the eruptive rocks of the Oslo region. – Norsk geol. Tidsskr., 38, 221 – 229.
- OLLIER, C. (1969): Weathering. – Geomorphology texts, 2; Oliver & Boyd, Edinburgh.
- PARSLOW, G.R. (1974): Determination of background and threshold in exploration geochemistry. – J. geochem. Explor. 3, 319 – 336.
- PAULCKE, W. (1906): Schichtenfolge am Nordrand der Schweizer Alpen. – Wagner, Freiburg i. Br.
- PERELMAN, A.I. (1972): Geochemie epigenetischer Prozesse (Die hypergene Zone). – Schriftenreihe des praktischen Geologen, 13; Akademie, Berlin.
- PETRASCHECK, W.E. mit KOSTELKA, L., KOMPOSCH, D. & SCHERIAU, E. (1965): Methodik der geochemischen Erzsuche im Blei-Zinkerzgebiet von Bleiberg-Kreuth. – Berg.- u. hüttenmänn. Mh. montan. Hochsch. Leoben, 110, 460 – 463.
- PLANT, J. (1971): Orientation studies on stream sediment sampling for a regional geochemical survey in northern Scotland. – Trans. Instn. Min. Metall., 80, No. 780, B 324 – B 344.

- (1973): A random numbering system for geochemical samples. – Trans. Instn. Min. Metall., No. 798, B 64 – B 65.
- PRASHNOWSKY, A.A. (1957): Sedimentpetrographische und geochemische Untersuchungen im südlichen Rheinischen Schiefergebirge. – N. Jb. Geol. Paläont., 105, 47 – 70.
- PROTCHE, G. & VANCON, J.P. (1962): Sur la présence de blende dans les calcaires bajociens de la région de la Grace-Dieu (Doubs). – Bull. Soc. hist. nat. Doubs, No. 64/2, 27.
- PUCHELT, H. (1967): Zur Geochemie des Bariums im exogenen Zyklus. – Sitzber. Heidelb. Akad. Wiss., math.-natw. Kl., Jg. 1967, 4. Abh.
- REEDMAN, A.J. & GOULD, D. (1970): Low sample-density stream sediment surveys in geochemical prospecting: an example from northeast Uganda. – Trans. Instn. Min. Metall., 79, No. 768, B 246 – B 248.
- RIEDWYL, H. (1971): Einführung in die angewandte Statistik. I. Teil. – Gedruckte Vorlesung, Univ. Bern.
- ROBINSON, J.W. (1966): Atomic absorption spectroscopy. – M. Decker, New York.
- RODIONOV, D.A. (1961): On the lognormal distribution of the elements in igneous rocks. – Geochem., engl. Transl., 366 – 369.
- (1962): Estimation of average content and dispersion of a lognormal distribution of components in rocks and ores. – Geochem. engl. Transl., 728 – 733.
- (1963): Distribution of the arithmetic mean in cases of asymmetric distribution of content. – Geochem. engl. Transl., 715 – 720.
- RODIONOV, D.A., PROKHOROV, Y.V. & ZOLOTAREV, V.M. (1965): The use of averaged samples in geochemical prospecting. – Geochem. int., 2, 566 – 574.
- ROHR, K. (1926): Stratigraphische und tektonische Untersuchung der Zwischenbildungen am Nordrande des Aarmassivs (zwischen Wendenjoch und Wetterhorn). – Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 57, Liefg., I. Abt.
- ROSCOE, W.E. (1971): Probability of an exploration discovery in Canada. – Canad. min. metall. Bull., March, 134 – 137.
- ROSE, A.W. (1972): Statistical Interpretation techniques in geochemical exploration. – Trans. amer. Inst. min. Eng., 252, 233 – 239.
- ROSE, A.W., DAHLBERG, E.C. & KEITH, M.L. (1970): A multiple regression technique for adjusting background values in stream sediment geochemistry. – Econ. Geol., 65, 156 – 165.
- RÖSLER, J. (1959): Zur Methodik geochemischer Prospektionsarbeiten auf Buntmetalle im Mittelgebirge. – Z. angew. Geol., 5/12, 565 – 571.
- RÖSLER, H.J. & LANGE, H. (1972): Geochemical Tables. – Elsevier, Amsterdam.
- ROTHENBACH, J.E. (1875): Geologische Studien im Gebiet des Trümmletenthal. – Mitt. natf. Ges. Bern, Jg. 1874, 42 – 80.
- ROUTHIER, P. (1963): Les gisements métallifères. Géologie et principes de recherche. Tome I et II. – Masson, Paris.
- RUTISHAUSER, H. (1972): Die quantitative Erfassung von Migmatiten im Aufschlussbereich (Erläutert am Beispiel des Lauterbrunner-Kristallins). – Diss. Univ. Bern (unpubl.).
- (1973a): Die quantitative Erfassung von Migmatiten im Aufschlussbereich (Erläutert am Beispiel des Lauterbrunner-Kristallins). Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 53/1, 99 – 124.
- (1973b): Die historische Entwicklung der Ansicht über die Entstehung des Lauterbrunner Kristallins (Aarmassiv). – Mitt. natf. Ges. Bern, NF, 30, 63 – 85.
- SAAGER, R. (1973): Geologische und geochemische Untersuchungen an primären und sekundären Goldvorkommen im frühen Präkambrium Südafrikas: Ein Beitrag zur Deutung der primären Herkunft des Goldes in der Witwatersrand Lagerstätte. – Habilschr. Univ. Heidelberg (unpubl.).
- SAAGER, R. & SINCLAIR, A.J. (1974): Factor analysis of stream sediment geochemical data from the Mount Nansen Area, Yukon Territory, Canada. – Mineralium Depos., 9, 243 – 252.
- SAHEURS, J.-P.G. (1966): Geschichtliche Hinweise zum Erzbergbau auf silberhaltigen Bleiglanz im Berner Oberland bei Trachsellauenen und Guttannen. – Mitt. natf. Ges. Bern, NF, 23, 205 – 209.
- (1973): Stream sediment- and track soil geochemistry as an exploration tool for Alpine type Pb-Zn-barite vein deposits, exemplified at the deposit of Trachsellauenen (Bernese Oberland/Switzerland). – Interim rep., RIOFINEX, 30th Jan. 1973 (unpubl.).
- (1974): Die Blei-Zink-Baryt-Lagerstätten bei Trachsellauenen (Berner Oberland / Schweiz). – Diss. Univ. Bern (unpubl.).
- SCABELL, W. (1926): Beiträge zur Geologie der Wetterhorn-Schreckhorn-Gruppe (Berner Oberland). – Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 57, Liefg., III. Abt.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1966): Lehrbuch der Bodenkunde. – Enke, Stuttgart.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1965): The algebra of stream-order numbers. – Prof. Pap. U.S. geol. Surv., 525 B, B 187 – B 189.
- SCHENKER, M. (1946): Geologische Untersuchung der mesozoischen Sedimentkeile am Südrand des Aarmassivs zwischen Lonza und Baltschiedertal. – Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 86, Lief.
- SCHMID, K. (1973): Über den Goldgehalt der Flüsse und Sedimente der miozänen Molasse des NE-Napfgebietes (Kt. Luzern). – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 53/1, 125 – 156.
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1941): Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. Erster Band: Die Lagerstätten der magmatischen Abfolge. – Fischer, Jena.
- (1962): Erzlagerstätten (Kurzvorlesungen zur Einführung und Wiederholung) (4. Aufl.). – Fischer, Stuttgart.
- SEEBER, H. (1911): Beiträge zur Geologie der Faulhorngruppe (westlicher Teil) und der Männlichengruppe. – Diss. Univ. Bern.
- SHAW, D.M. (1964): Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. – Masson, Paris.
- SINCLAIR, A.J. (1974): Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs. – J. geochem. Explor., 3, 129 – 149.
- SMIRNOV, S.I. (1963): Statistical estimation of the geochemical background in geochemical prospecting. – Geochem., engl. Transl., 353 – 364.



- SOLIMAN, S.M. & HASSAAN, M.M. (1971): Geochemical prospecting for lead and zinc in Gebel el Rousas, Eastern Desert, Egypt. – *Geol. Rdsch.*, 60, 1285 – 1301.
- SONDAG, F., LECOMTE, P. & MARTIN, H. (1973): 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. – *Ann. Soc. géol. Belg.*, 95, 1972, 413 – 424.
- SØRENSEN, H. (Ed.) (1961): Symposium on Migmatite Nomenclature. – *Int. geol. Congr., Rep. 21st Sess., Norden (Copenhagen)*, Part 26, suppl. vol., 54 – 78.
- SOUKUP, B. (1969): Korrelations- und Regressionsanalyse bei der Lagerstättenerkundung. – *Z. angew. Geol.*, 15, 140 – 144.
- STALDER, H.A., QUERVAIN, F. de, NIGGLI, E., GRAESER, St. & JENNY, V. (1973): Die Mineralfunde der Schweiz. Neubearbeitung von R.L. Parker, „Die Mineralfunde der Schweizer Alpen“. – Wepf, Basel.
- STÄNDER, G. (1943): Stratigraphie und Tektonik des helvetischen Malm zwischen Kiental und Lüttschental (Berner Oberland). – *Diss. Univ. Bern*.
- STAPPENBECK, R. (1928): Ausbildung und Ursprung der oberschlesischen Bleizinkerzlagertstätten. – *Arch. Lagerstförsch. (Berlin)*, H. 41.
- STARKE, R. (1964): Die Strontiumgehalte der Baryte. – *Freiberger Forschh.*, C. 150.
- STAUFFER, H. (1921): Geologische Untersuchung der Schilthorngruppe im Berner Oberland. – *Mitt. natf. Ges. Bern*, Jg. 1920, 1 – 90.
- STECK, A. (1966a): Petrographische und tektonische Untersuchungen am Zentralen Aaregranit und seinen altkristallinen Hüllgesteinen im westlichen Aarmassiv im Gebiet Belalp-Grisighorn. – *Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 130. Liefg.*
- (1966b): Magnetkies-Kupferkies-Vererzungen am Kontakt des Zentralen Aaregranites im westlichen Aarmassiv nördlich Brig. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 46/2, 389 – 412.
- (1968): Die alpidischen Strukturen in den zentralen Aaregraniten des westlichen Aarmassivs. – *Eclogae geol. Helv.*, 61/1, 19 – 48.
- STECK, A. & HÜGI, Th. (1970): Das Auftreten des Molybdänglanzes im westlichen Aarmassiv und Molybdängehalte von Gesteinen der gleichen Region. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 50/2, 257 – 276.
- STILLE, H. (1924): Grundfragen der vergleichenden Tektonik. – Borntraeger, Berlin.
- STRAHLER, A.N. (1952): Dynamic basis of geomorphology. – *Bull. geol. Soc. Amer.*, 63, 923 – 938.
- (1957): Quantitative analysis of watershed geomorphology. – *Trans. Amer. geophys. Union*, 38/6, 913 – 920.
- TENNANT, C.B. & WHITE, M.L. (1959): Study of the distribution of some geochemical data. – *Econ. Geol.*, 54, 1281 – 1290.
- THIERGÄRTNER, H. (1968): Grundprobleme der statistischen Behandlung geochemischer Daten. – *Freiberger Forschh.*, C. 237.
- THIERGÄRTNER, H. & KOCH, I. (1969): Varianzanalyse und Duncan-Test zur Gliederung von gruppierten Daten. – *Z. angew. Geol.*, 15, 253 – 256.
- TIMPERLEY, M.H., BROOKS, R.R. & PETERSON, P.J. (1972): Trend analysis as an aid to the comparison and interpretation of biogeochemical and geochemical data. – *Econ. Geol.*, 67, 669 – 676.
- TOBLER, Aug. (1897): Über die Gliederung der mesozoischen Sedimente am Nordrand des Aarmassivs. – *Verh. natf. Ges. Basel*, 12/1, 25 – 107.
- TOLSTOY, M.I., OSTAFIYCHUK, I.M. & GUDIMENSKO, L.M. (1965): The types of statistical distribution curves for chemical elements in rocks and the methods of computing their parameters. – *Geochem. int.*, 2, 993 – 1000.
- TRENER, G.B. (1908): Die Barytvorkommnisse von Mte. Calisio bei Trient und Darzo in Judikarien und die Genesis des Schwer-spates. – *Jb.k.k. geol. Reichsanst.*, 58/3, 387 – 468.
- TRÖHLER, B. (1966): Geologie der Glockhaus-Gruppe. Mit besonderer Berücksichtigung des Eisenoolithes der Erzegg-Planplatte. – *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser.*, 13. Liefg., 10.
- VISTELIUS, A.B. (1960): The skew frequency distributions and the fundamental law of the geochemical processes. – *J. Geol.*, 68, 1 – 22.
- WEBB, J.S., TOOMS, J.S. & GILBERT, M.A. (1959): Geochemical drainage reconnaissance for copper in Northern Rhodesia. – *Trans. Instn. Min. Metall.*, 68, 125 – 144.
- WEDEPOHL, K.H. (Ed.) (1969 – 72): Handbook of Geochemistry. – Springer, Berlin.
- WEINELT, W. (1955): Beiträge zur Paläogeographie und Lithogenese der Bleiglanz-Bank des Mittleren Keupers im Raume zwischen Klettgau und Coburg. – *Diss. Univ. Würzburg (unpubl.)*.
- WENGER, R. & HÖGL, O. (1968): Molybdän als Spurenelement in unserer Ernährung. – *Mitt. aus dem Gebiete der Lebensmittel-unters. und Hygiene*, 59, 525 – 545.
- WHITTEN, E.H.T. (1966): Quantitative models in the economic evaluation of rock units: illustrated with the Donegal granite and the gold-bearing Witwatersrand conglomerates. – *Trans. Instn. Min. Metall.*, 75, B 181 – B 198.
- WILLIAMS, X.K. (1967): Statistics in the interpretation of geochemical data. – *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 10, 771 – 797.
- WINTERHALTER, R.U. (1930): Zur Petrographie und Geologie des östlichen Gotthardmassivs. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 10, 38 – 116.
- WOODSWORTH, G.J. (1971): A geochemical drainage survey and its implications for metallogenesis, Central Coast Mountains, British Columbia. – *Econ. Geol.*, 66, 1104 – 1120.



ZESCHKE, G. (1964): Prospektion und feldmässige Beurteilung von Lagerstätten. – Springer, Wien.  
– (1970): Mineral-Lagerstätten und Exploration. I. Band. – Enke, Stuttgart.

(1972): Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz (1972): Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschafts Departement. – Herausgegeben vom eidg. Amt für Wasserwirtschaft.

## GEOLOGISCHE KARTEN

COLLET, L.W. & PARÉJAS, Ed. (1928): Carte géologique de la Chaîne de la Jungfrau, 1:25'000. – Geol. Spez.-Karte Schweiz, Nr. 113.

GÜNZLER-SEIFFERT, H. (1933): Lauterbrunnen. – Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Bl. 395.

GÜNZLER-SEIFFERT, H. & WYSS, R. (1938): Grindelwald. – Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Bl. 396.

HÜGI, Th. (1956): Petrographisch-geologische Übersichtskarte des Aarmassivs, 1:250'000. – Beil. zu: Beitr. geol. Karte Schweiz, NF, 94. Liefg.

KREBS, J. (1925): Geologische Karte der Blümlisalpgruppe, aufgenommen von 1917 – 1919. Mit nördlichen Anschlüssen von H. Adrian (Ärmighorn), H. Althaus (Wild Andrist) und H. Stauffer (Schilthorn) und unter Verwertung der Aufnahmen von A. Buxtorf (Fisistöcke-Gasterntal), 1:25'000. – Geol. Spez.-Karte Schweiz, Nr. 98.

SAHEURS, J.-P.G. (1974): Erzlagerstättenkarte der Westalpen von Chur bis Gap, 1:500'000. – In Diss. Univ. Bern.

## TOPOGRAPHISCHE KARTEN

Landeskarte der Schweiz:	1 : 50'000 :	Bl. 254, INTERLAKEN Bl. 264, JUNGFRAU
	1 : 25'000 :	Bl. 1248, MÜRREN
Übersichtsplan:	1 : 10'000 :	Bl. 1248.2, MÜRREN Bl. 1248.4, TSCHINGELHORN Bl. 1249.1, JUNGFRAU Bl. 1249.3, ALETSCHHORN

Tafel I Punktediagramm zwischen Cu, Pb und Zn in den Flussedimenten

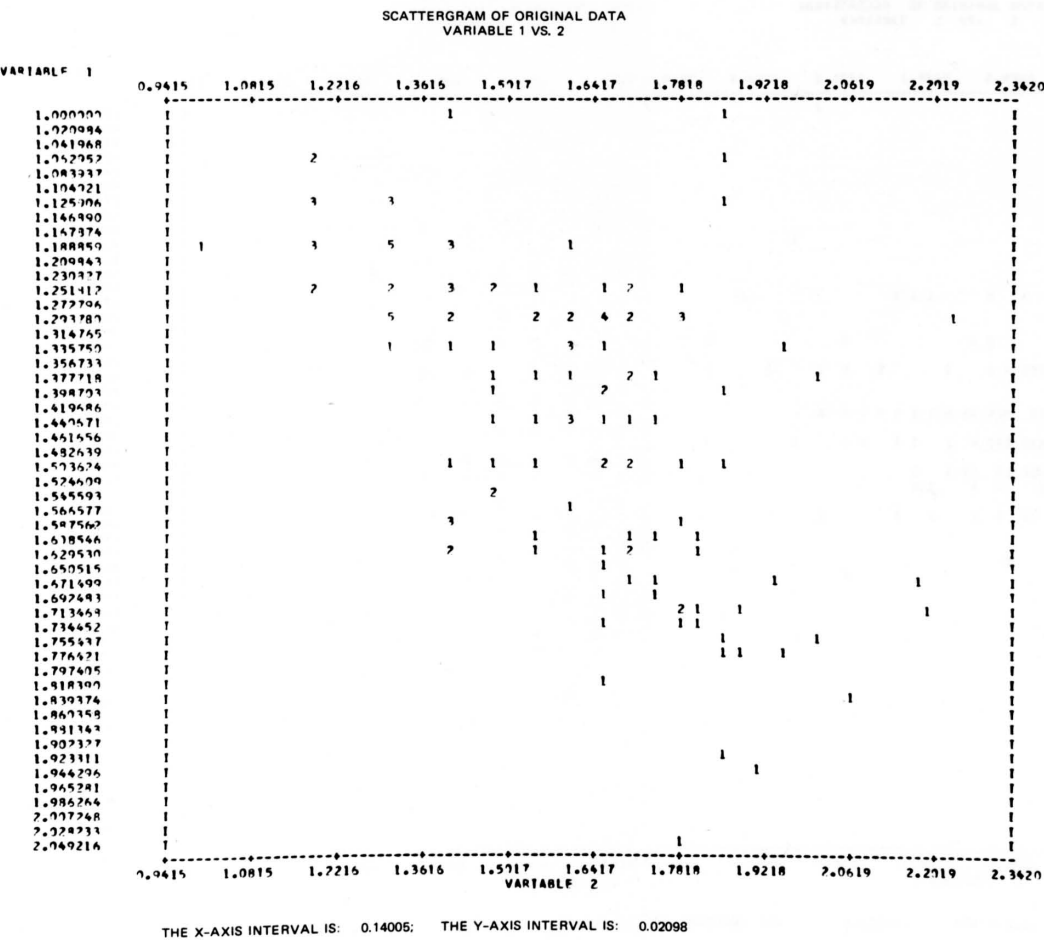


Fig. 1  
Einzugsgebiet: Kristallin  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Pb (Variable 2); logarithmisch transformierte Analysenwerte. (r = 0,567)

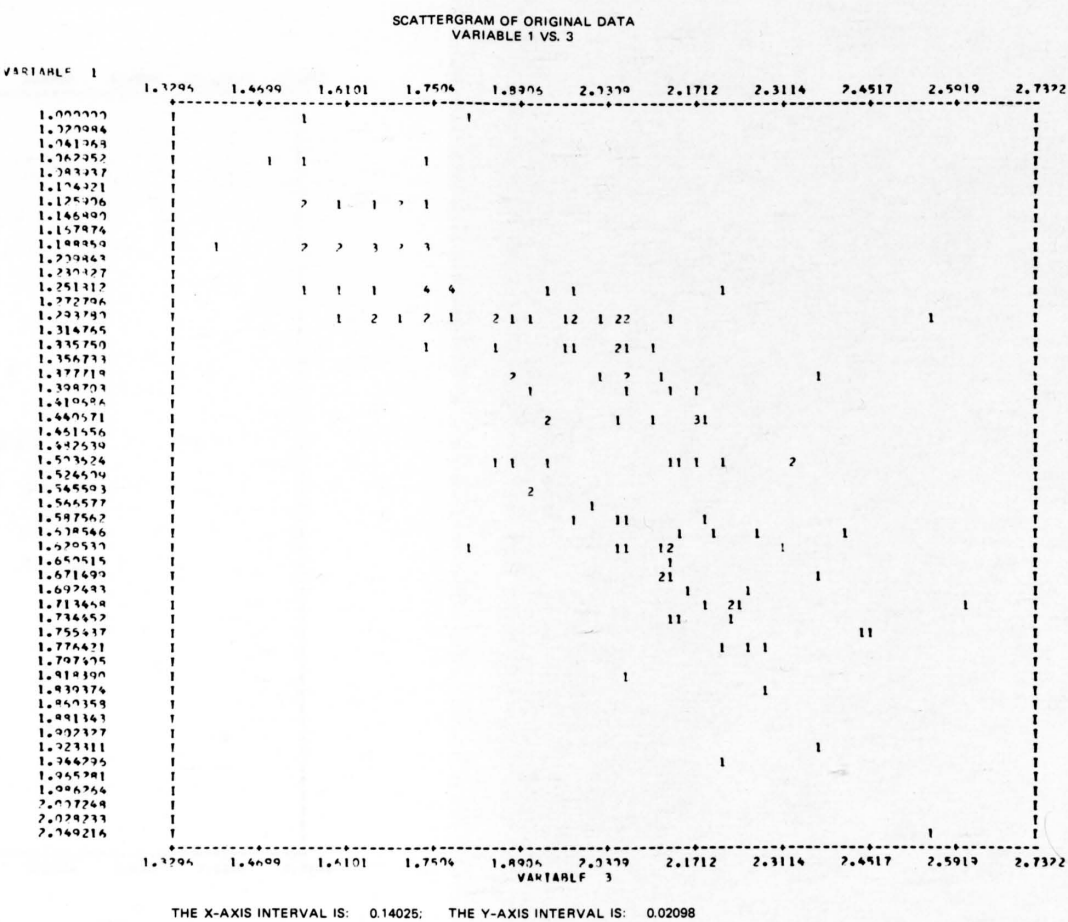


Fig. 2  
Einzugsgebiet: Kristallin  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Zn (Variable 3); logarithmisch transformierte Analysenwerte. (r = 0,771)

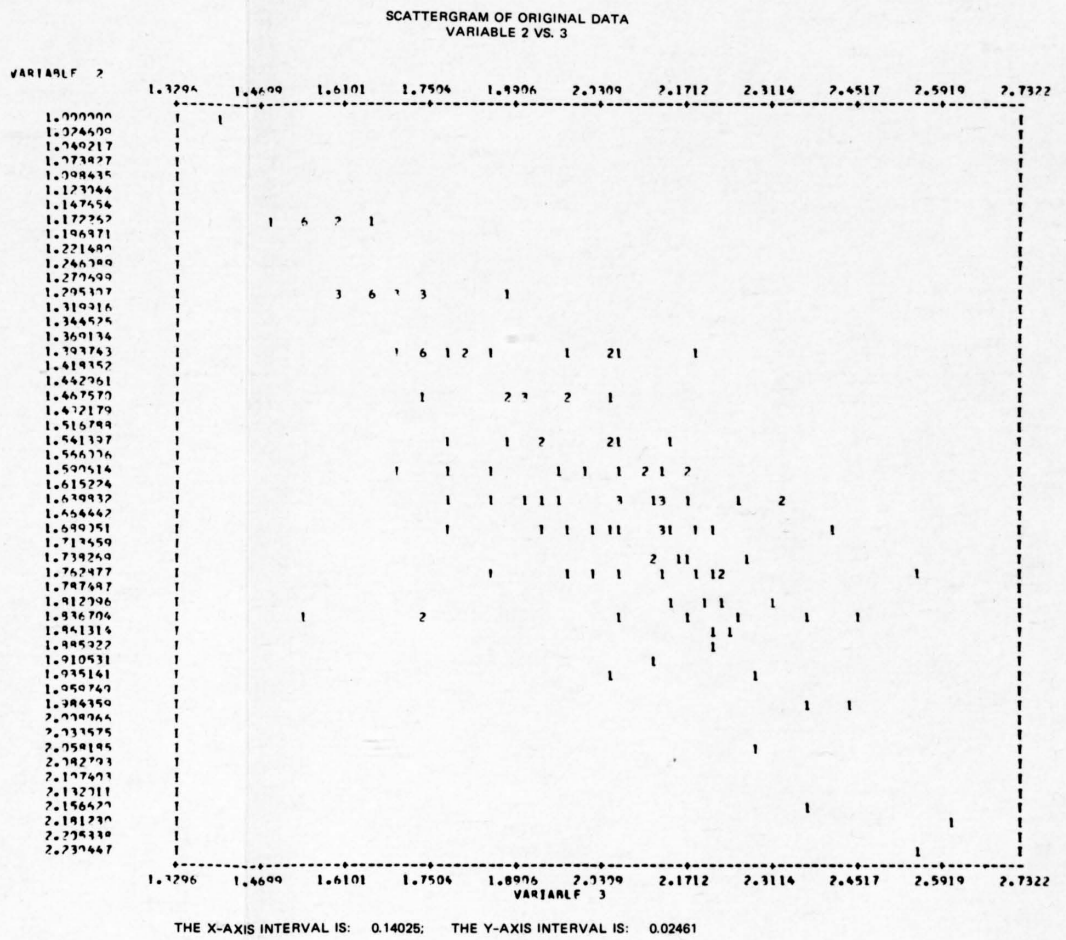


Fig. 3  
Einzugsgebiet: Kristallin  
Punktediagramm zwischen Pb (Variable 2) und Zn (Variable 3); logarithmisch transformierte Analysenwerte. (r = 0,807)

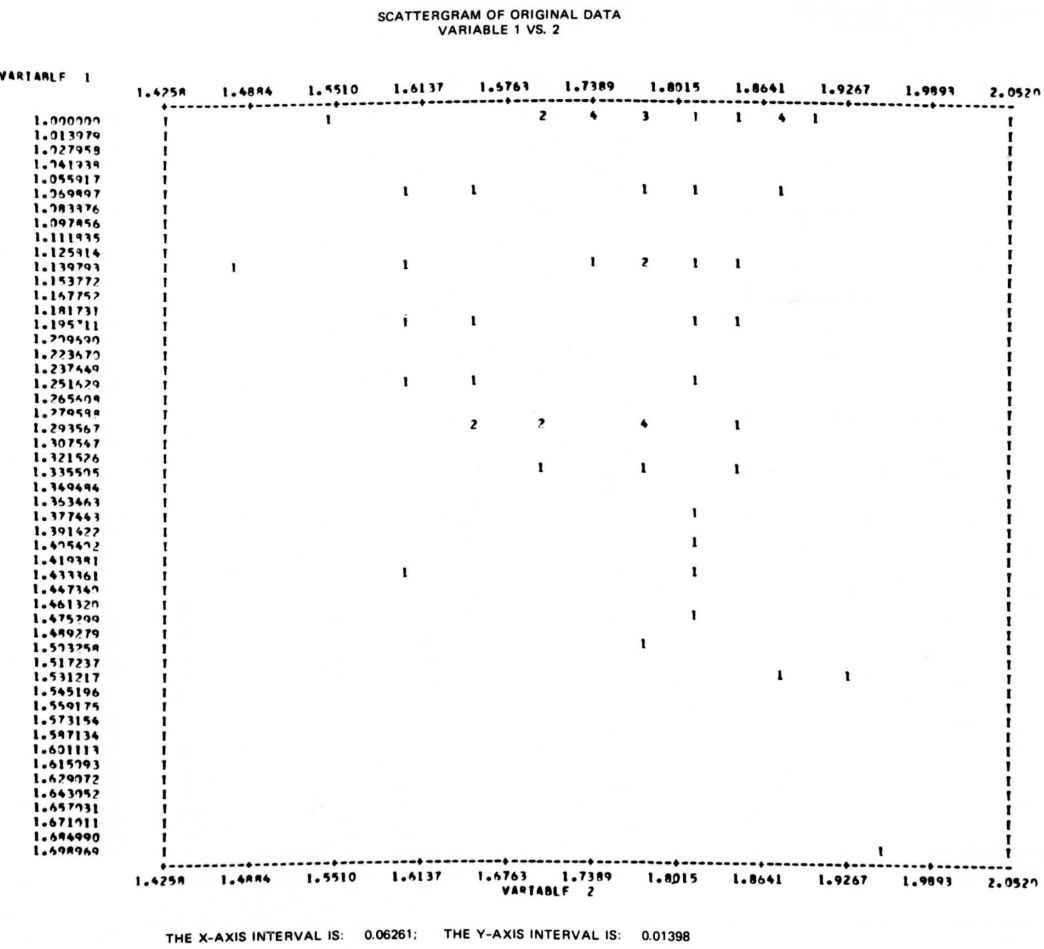


Fig. 4  
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente im allgemeinen  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Pb (Variable 2); logarithmisch transformierte Analysenwerte. (r = 0,133)

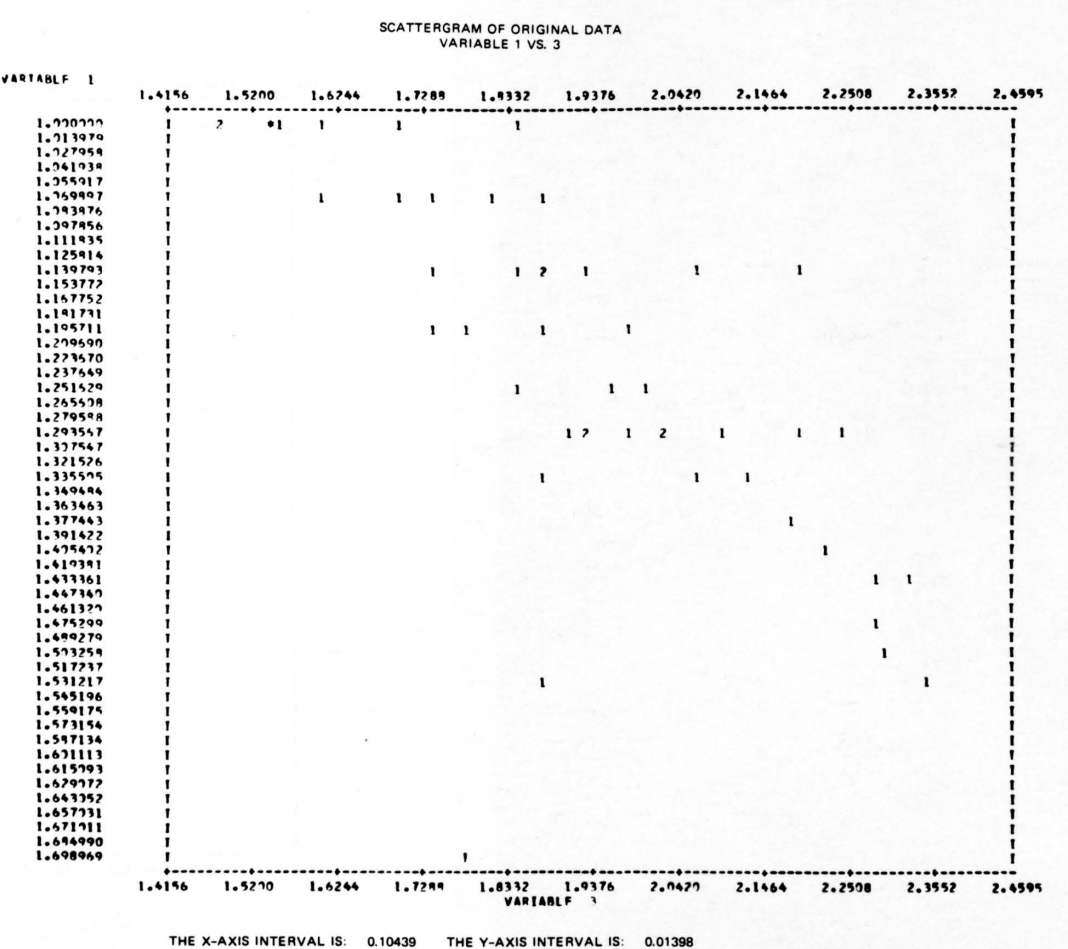


Fig. 5  
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente im allgemeinen  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Zn (Variable 3); logarithmisch transformierte Analysenwerte. (r = 0,788)

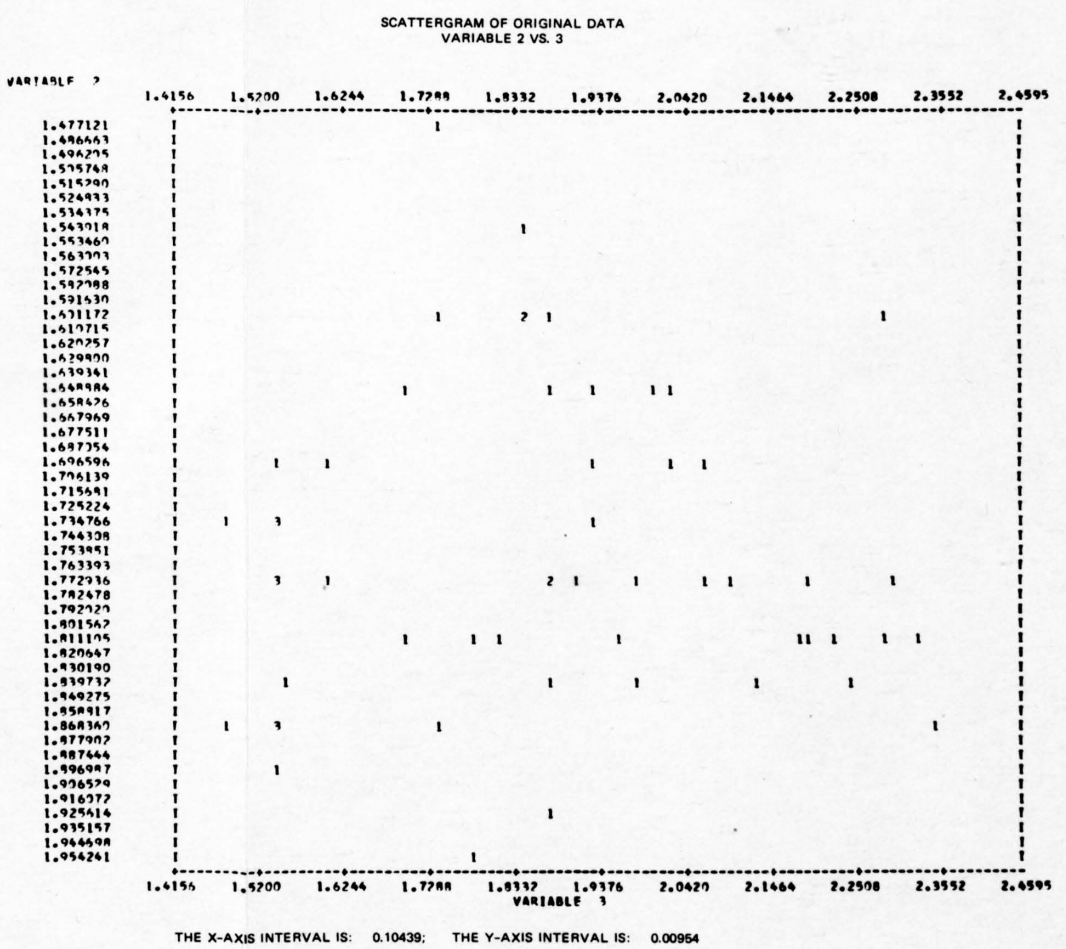


Fig. 6  
Einzugsgebiet: Autochthone Sedimente im allgemeinen  
Punktediagramm zwischen Pb (Variable 2) und Zn (Variable 3); logarithmisch transformierte Analysenwerte. (r = 0,024)

Tafel II Punktediagramme zwischen Cu, Pb und Zn in den Böden

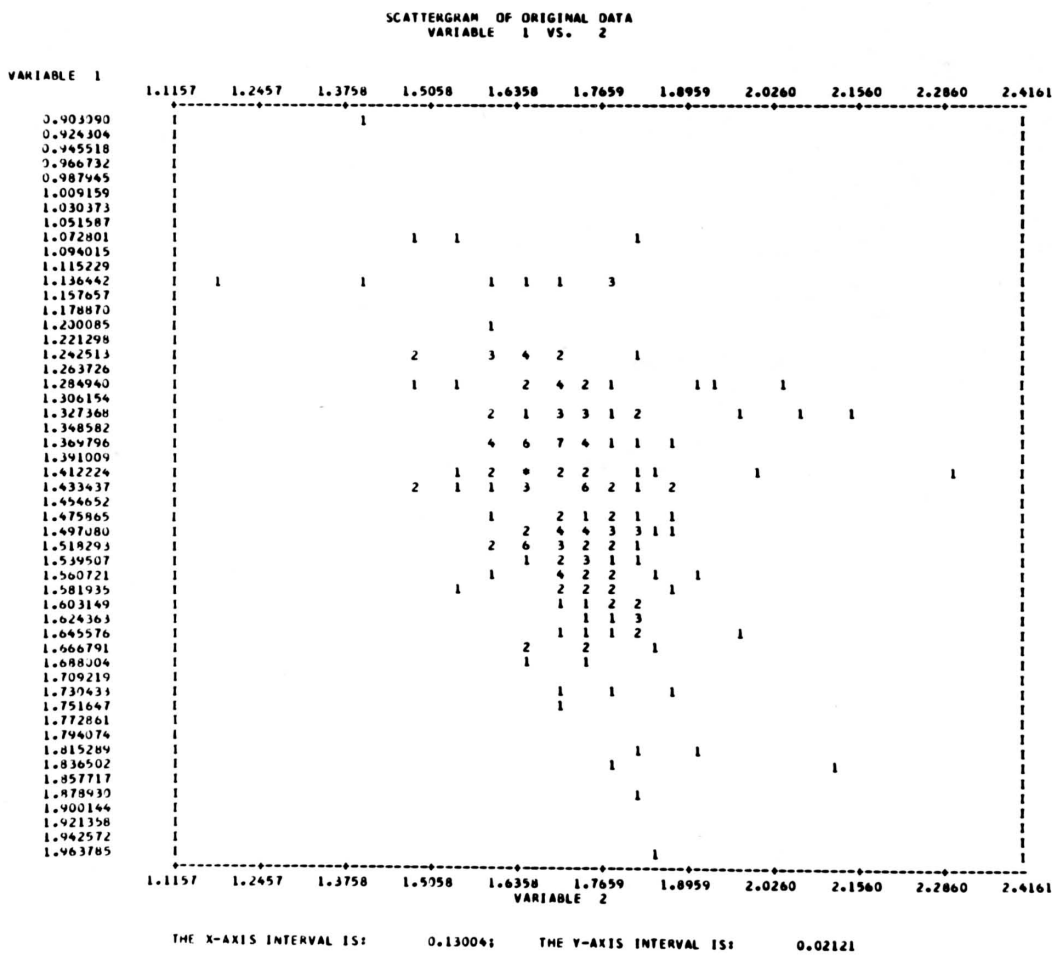


Fig. 1  
Böden über kristallinem Untergrund  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Pb (Variable 2); logarithmisch transformierte Analysenwerte. ( $r = 0,338$ )

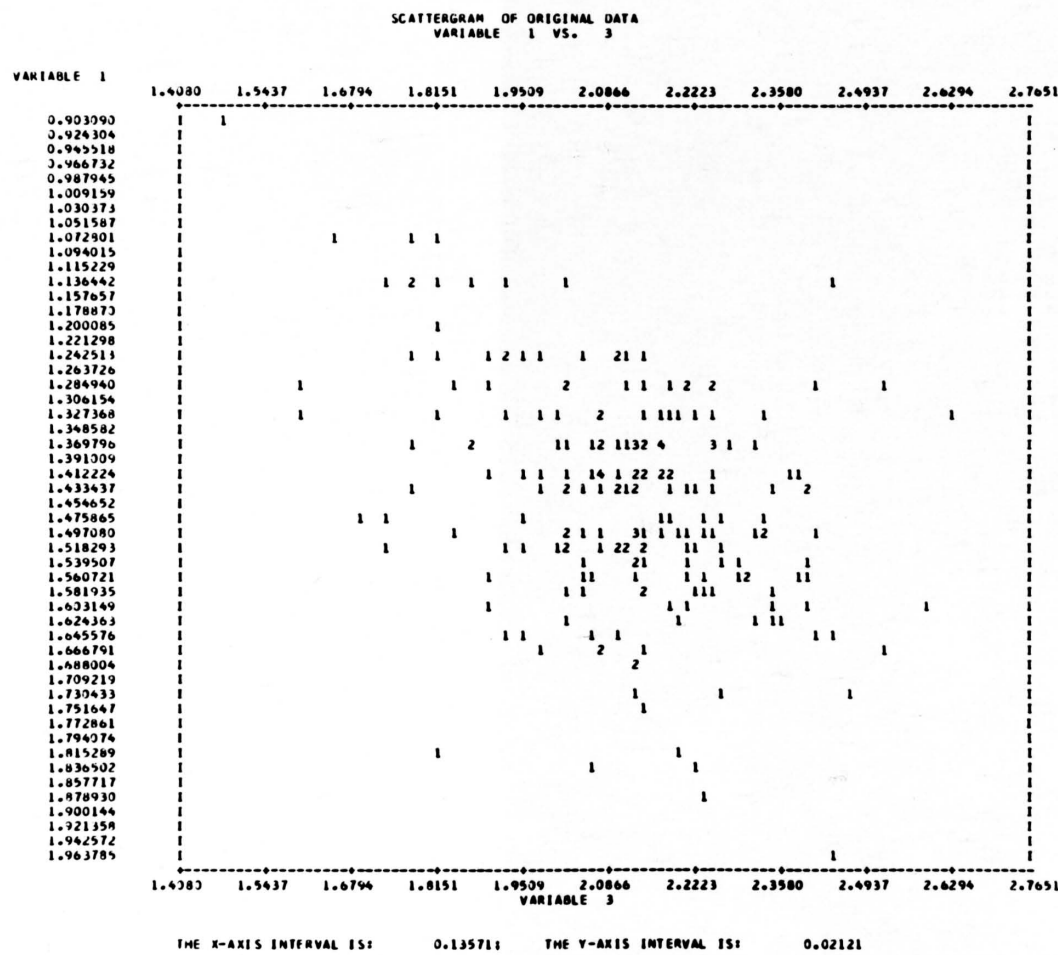


Fig. 2  
Böden über kristallinem Untergrund  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Zn (Variable 2); logarithmisch transformierte Analysenwerte. ( $r = 0,394$ )

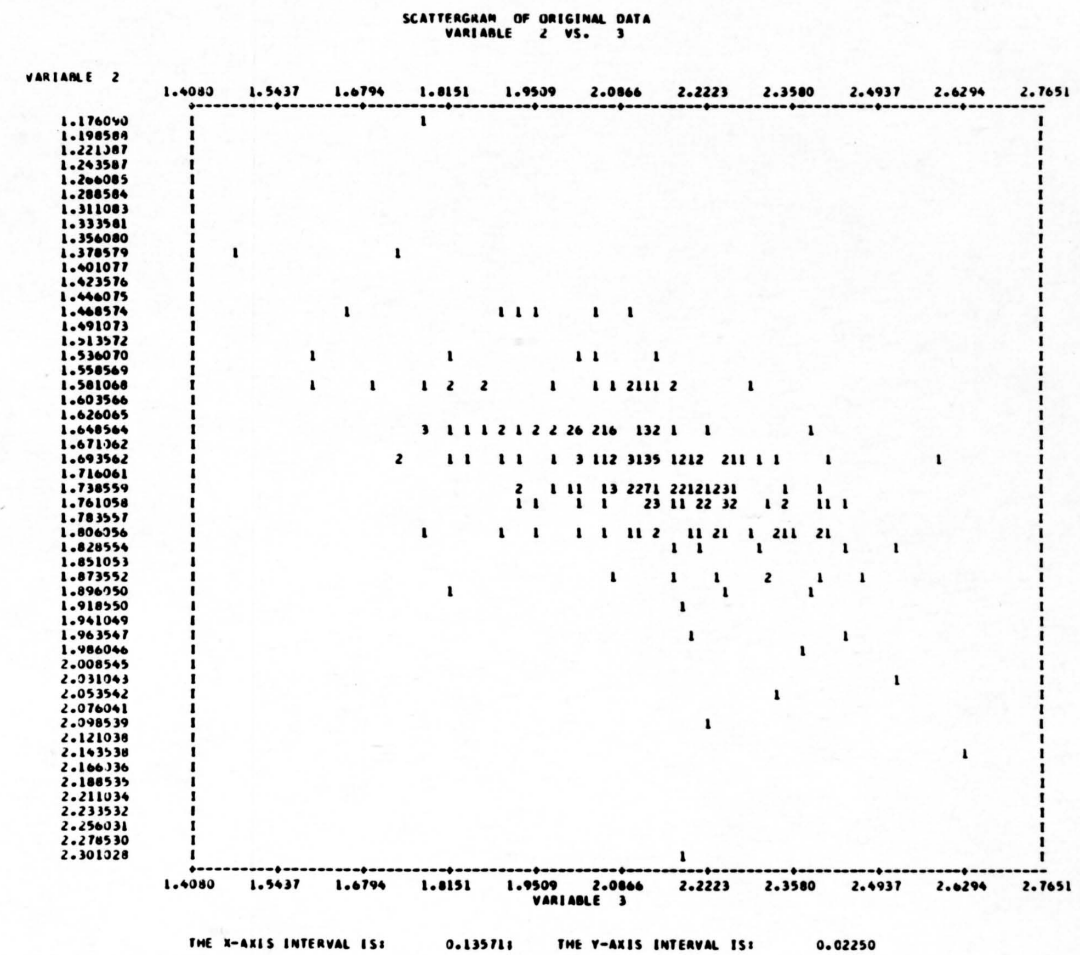


Fig. 3  
Böden über kristallinem Untergrund  
Punktediagramm zwischen Pb (Variable 2) und Zn (Variable 3); logarithmisch transformierte Analysenwerte. ( $r = 0,569$ )

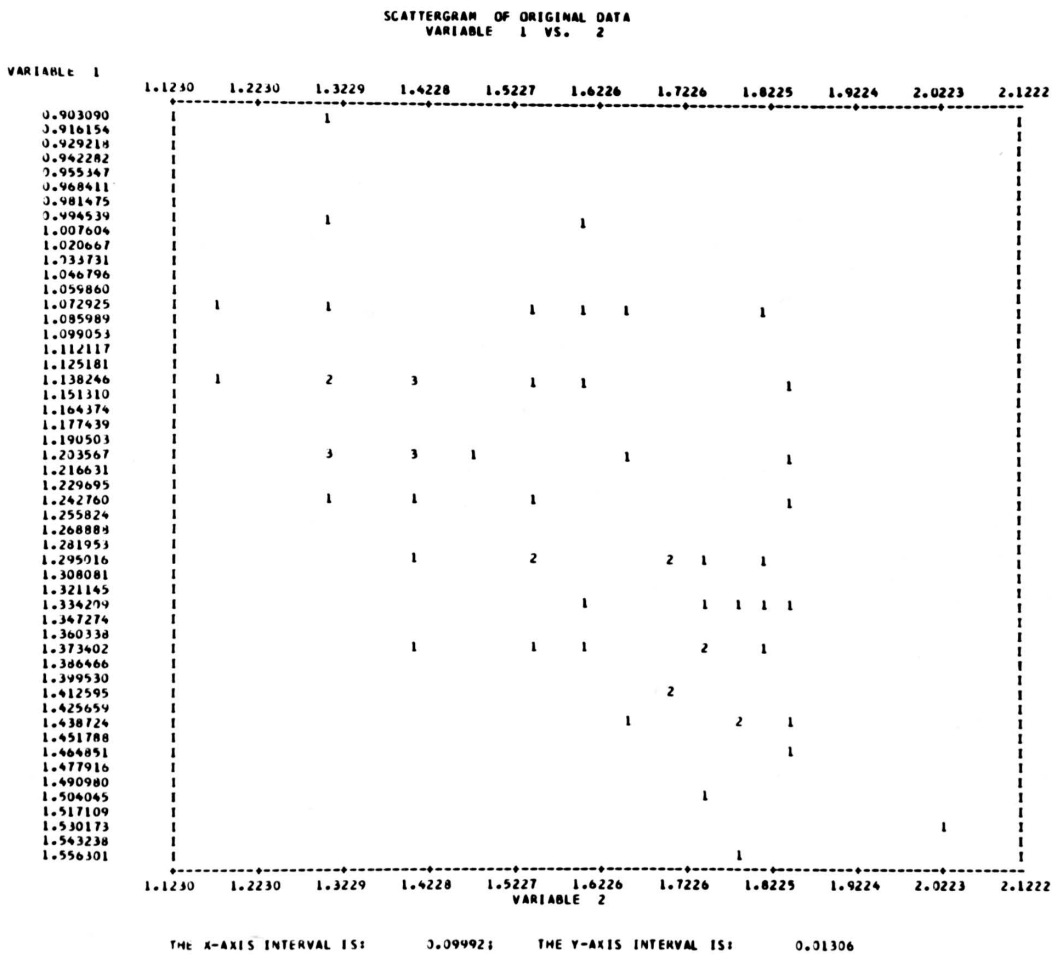


Fig. 4  
Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Pb (Variable 2); logarithmisch transformierte Analysenwerte. ( $r = 0,590$ )

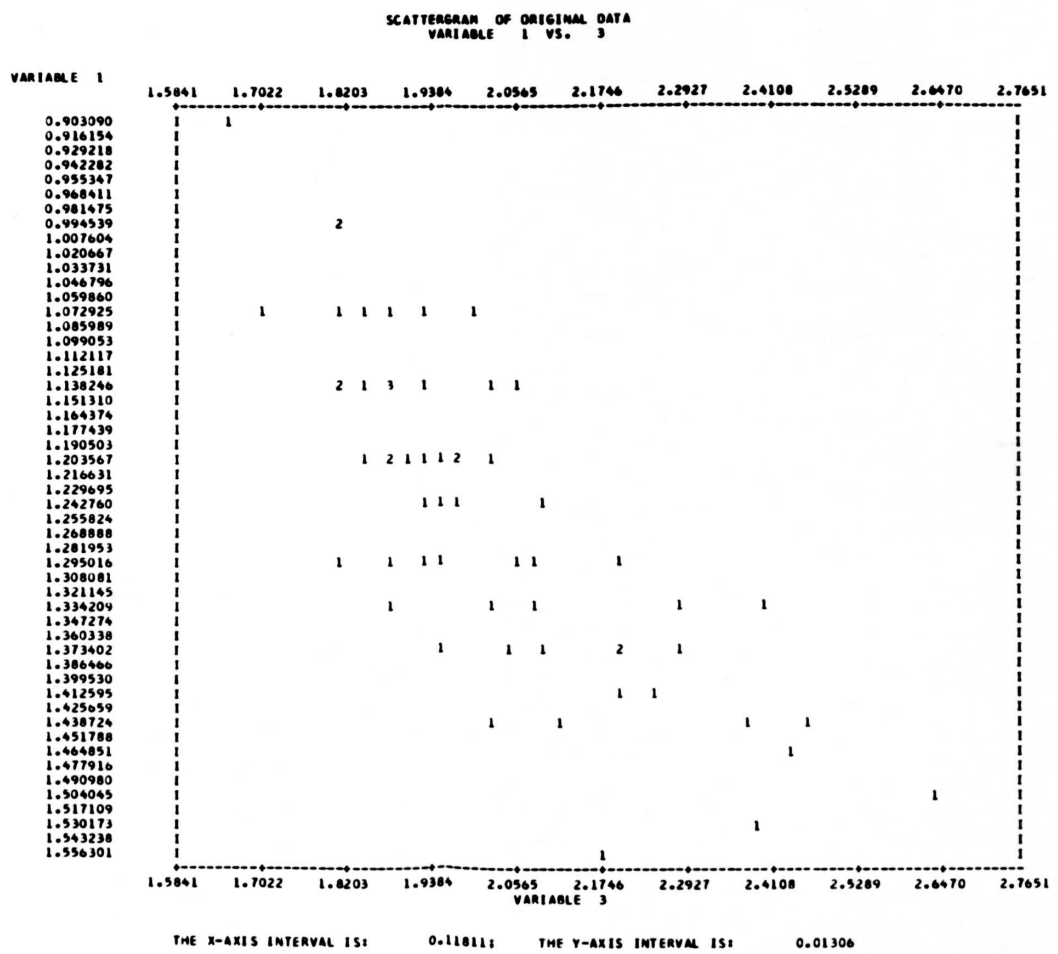


Fig. 5  
Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente  
Punktediagramm zwischen Cu (Variable 1) und Zn (Variable 2); logarithmisch transformierte Analysenwerte. ( $r = 0,783$ )

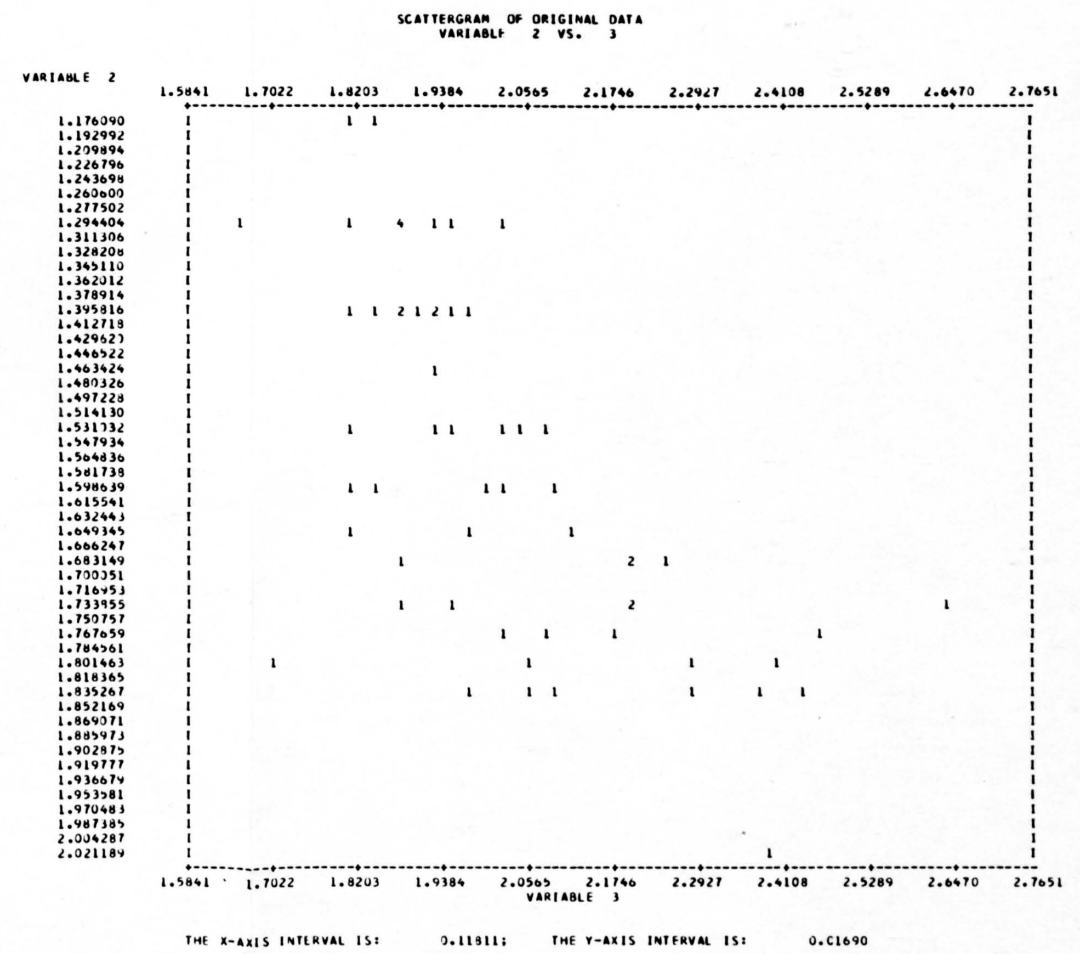


Fig. 6  
Böden im Gebiet der autochthonen Sedimente  
Punktediagramm zwischen Pb (Variable 2) und Zn (Variable 3); logarithmisch transformierte Analysenwerte. ( $r = 0,639$ )