

Montangeologische Untersuchungen auf Eisenglimmer am Beispiel der Vererzungen in den nordöstlichen Seetaler Alpen

Von Ferdinand SCHÜSSLER

Mit 4 Tab. und 3 Abb.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	137
1. Einleitung.	137
2. Wirtschaftliche Aspekte des Eisenglimmers	138
3. Kriterien bei der Auswahl des Untersuchungsgebietes	138
4. Geologischer Rahmen und allgemeiner Gesteinsbestand des Arbeitsgebietes	139
5. Vererzungen	140
5.1. Versuch einer genetischen Deutung.	140
6. Prospektionsarbeiten	142
6.1. Gründe für die Wahl der Prospektionsmethode und Zielsetzung	142
6.2. Geochemie.	143
6.2.1. Probenahme	143
6.2.2. Probenvorbereitung	144
6.2.3. Analyse.	145
6.2.3.1. Erzproben	145
6.2.3.2. Stream-Sediments-Proben	146
6.2.3.2.1. Analyse auf Eisen	146
6.2.3.2.1.1. Allgemeine Aspekte	146
6.2.3.2.1.2. Analysenergebnisse	146
6.2.3.2.2. Analyse auf Mangan.	149
6.2.3.2.2.1. Allgemeine Aspekte	149
6.2.3.2.2.2. Analysenergebnisse	151
6.2.3.2.3. Korrelation zwischen Fe und Mn	154
6.3. Geophysikalische Untersuchungen	154
7. Aufbereitungsversuche	154
8. Kritische Betrachtung der Prospektionsmethoden.	155
9. Auswahl besonders prospektionswürdiger Gebiete	157
Literaturnachweis	158

Zusammenfassung

Die Durchführung von Prospektionsarbeiten auf Eisenglimmer im Gebiet zwischen Reiflingberg und Judenburg führte zur Auffindung von drei Eisenglimmerfundstellen. Die Fortsetzung der Vererzungen wurde z. T. durch geomagnetische Messungen gefunden. Die Mächtigkeiten der Eisenglimmervererzungen schwanken im cm- bis dm-Bereich. Aus diesem Grund können sie keiner wirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden. Von aufbereitungstechnischer Seite wäre es prinzipiell möglich, aus den Erzen bei Judenburg ein hochwertiges Hämatitkonzentrat zu erzeugen.

1. Einleitung

Der vorliegende Bericht stellt einen Auszug aus der Dissertation dar, die vom Verfasser dank der dafür zur Verfügung gestellten Mittel beendet werden konnte.

In dieser Arbeit erfolgte eine Zusammenstellung der wirtschaftlichen Aspekte des Eisenglimmers, eine Beschreibung der wichtigeren mittelostalpinen Eisenglimmerlagerstätten und -vorkommen, und sie konzentrierte sich im Hauptteil auf montangeologische Untersuchungen, die in eine geologische Kartierung eines ausgewählten Untersuchungsgebietes, eine geochemische Prospektion, eine geophysikalische Prospektion und in aufbereitungstechnische Untersuchungen gegliedert wurden. Mein Dank gilt besonders den Herren Prof. Dr. F. WEBER und Prof. Dr. H. J. STEINER für die Entlehnung eines Magnetometers und für die Durchführung von Aufbereitungsversuchen.

2. Wirtschaftliche Aspekte des Eisenglimmers

Eisenglimmer, eine feinblättrige Ausbildung des Hämatits, besitzt im Vergleich zu anderen Eisenerzen nur Bedeutung in der chemischen Industrie zur Herstellung hochwertiger Rostschutzfarben.

Seine vorzügliche Eignung dafür beruht auf der Fähigkeit, durch die dachziegelartige Übereinanderlagerung der Eisenglimmerschüppchen bei der Applikation des Anstrichs das UV-Licht zu reflektieren. Daneben werden auf der Metalloberfläche Inhibitor Komplexe gebildet, die den zerstörenden Einfluß atmosphärischer Verunreinigungen verhindern.

Die größte, derzeit in Betrieb stehende Eisenglimmerlagerstätte liegt in Waldenstein/Kärnten. Weitere Produzenten von Eisenglimmer sind in geringem Ausmaß England, Spanien, Brasilien, Frankreich, Australien, Sierra Leone und die UdSSR.

Die Welt-Gesamtproduktion an Eisenglimmerfertigware beträgt nach Schätzungen etwa 40.000 Tonnen.

Die Verkaufspreisentwicklung bei Eisenglimmer zeigte während der vergangenen 30 Jahre durchwegs steigende Tendenz mit Preiserhöhungen bis mehr als 30 Prozent innerhalb von 2 Jahren. Der Wert der Tonne Eisenglimmerfertigware erhöhte sich von S 1410.— im Jahre 1951 auf S 7121.— im Jahre 1977.

Die ebenfalls gestiegene Nachfrage bewirkte eine Intensivierung der Prospektion.

Laut Mitteilung eines Vertreters des Bergbaues Waldenstein war eine Prospektion auf Eisenglimmer in Südafrika erfolgreich und erbrachte eine der größten Lagerstätten der Welt.

Auch in Österreich finden sich im Zuge Hüttenberg—Waldenstein bzw. Hansental—Nußdorf—Kathal—Waldenstein Eisenglimmer-höfliche Gebiete.

Eines davon soll im Rahmen dieser Arbeit genauer besprochen werden.

3. Kriterien bei der Auswahl des Untersuchungsgebietes

Bei der Auswahl eines prospektionswürdigen Gebietes, in dem verschiedene Prospektionsmethoden zielversprechend schienen, wurden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

Ausgehend von den bekannten Lagerstätten in der Koralpe, der Saualpe, der Seetaler Alpe und in den Wölzer Tauern wurde der Untersuchungsraum großflächig eingegrenzt, womit auch der Bezug zu ausschließlich mittelostalpinen Lagerstätten gegeben war.

Ein weiteres Kriterium, das näher an das letztthin ausgewählte Gebiet führte, war die räumliche Verteilung der Lagerstätten, die in einem NW-SE laufenden Zug am Sölkpaß, bei Nußdorf und bei Kathal erscheinen.

Ausschlaggebend für die endgültige Bestimmung des Untersuchungsgebietes war das Auftreten geomagnetischer Anomalien am Reiflingberg und zwischen Oberweg und Reiflinggraben S Judenburg, die sich im Zuge von geophysikalischen Messungen im Rahmen des Forschungsprojektes „Geologischer Tiefbau der Ostalpen“ ergaben.

Die Grenzen des Untersuchungsgebietes werden somit im W von der Ostflanke des Hölzlkogels, im N von Judenburg, im E von Feeberg und dem Spitalwald und im S von der Linie Reiflingberg—Kienberg gebildet.

4. Geologischer Rahmen und allgemeiner Gesteinsbestand des Arbeitsgebietes

Dieser nordöstliche Abschnitt der Seetaler Alpen wird aus mesozonalem Kristallin aufgebaut, dem S des Reiflingberges katazoniales Kristallin tektonisch auflagert. Sowohl hinsichtlich der tektonischen Beeinflussung als auch des Gesteinsverbandes sind Übereinstimmungen mit den benachbarten Gebieten, wie Saualpe und Wölzer Tauern, gegeben.

Der allgemeine Gesteinsbestand des untersuchten Gebietes setzt sich zusammen aus Marmoren, Glimmerschiefern, Amphiboliten, Paragneisen, Pegmatiten und dunklen, pigmentierten Schiefen.

Die Marmore bilden 2 Züge, von denen einer den Steinbruch SW Judenburg aufbaut und sich über Ziegelwald und Fresner zum Kienberg und weiter in das Granitzental fortsetzt. Der südlichere Marmorzug tritt relativ geringmächtig zum ersten am N-Abhang des Reiflingberges auf.

Bezüglich der Vererzungen ist der südliche Marmor steril. Die Erzfundpunkte, die sich z. T. aus den feldgeologischen Beobachtungen ergaben, liegen ausschließlich im nördlichen Marmorzug.

Im Bereich der Marmore treten Glimmerschiefer unterschiedlicher Mächtigkeiten auf. Die mannigfaltigen Erscheinungsformen wurden nicht näher untergliedert, zumal eine Beziehung zu Fe-Vererzungen aufgrund der Kartierung ausgeschlossen werden konnte.

Amphibolite folgen nach Glimmerschiefern und geringmächtigen Gneisen über den liegenden Marmoreinheiten und sind besonders nördlich des Reiflingberges mächtig ausgebildet. Im Zusammenhang mit den Vererzungen stellen sie keine Bedeutung dar und wurden nur insofern genauer kartiert, um verschiedene Anomalien aus geomagnetischen Messungen interpretieren zu können.

Paragneise treten auf der außerhalb des Untersuchungsgebietes liegenden Seetaler Alpe im Zuge von Vererzungen auf. Dieser Zusammenhang konnte im gegenständlichen Untersuchungsbereich nicht festgestellt werden.

Pegmatite erscheinen sowohl in Form quergreifender Gänge als auch – und zwar zum überwiegenden Teil – als s-parallele Einlagerungen in den Amphiboliten, Marmoren und Glimmerschiefern. Vom Typus her gesehen lassen sich 2 Pegmatitarten unterscheiden: turmalinführende Pegmatite im S und reine Feldspat-Quarz-Pegmatite im N, teilweise mit Muskowitblätchen auf s.

Im N des untersuchten Gebietes treten im Hangenden der Marmore dunkle pigmentierte Schiefer auf, die ebenfalls nach bisherigen Erkenntnissen als vererzungsfrei anzusehen sind.

5. Vererzungen

Vererzte Bereiche konnten an zwei Stellen gefunden werden. Beide Male treten als Erzträger Marmore des nördlicheren Marmorzuges auf. Der erste Fundpunkt liegt im Reiflinggraben, wo auch Halden von früheren bergmännischen Aktivitäten zeugen. Der zweite Fundpunkt liegt beim Gehöft Engelberger und wurde bislang in der Literatur nicht erwähnt. Darüber hinaus zeigten sich in der Fortsetzung des beim Engelberger vererzten Marmors u. d. M. zahlreiche isolierte Hämatitkörner (Fundpunkt 3), die nicht zu einer Erzanreicherung im herkömmlichen Sinn aggregiert sind.

Im Handstückbereich erscheint die Vererzung im Reiflinggraben als durch Verwerfer zerstückelte, lagergangartige Anreicherung von z. T. massivem Hämatit, der alle Übergänge zu feinblättrigen Varietäten zeigt. Die Mächtigkeit der Vererzung liegt maximal im dm-Bereich, wodurch eine wirtschaftliche Verwendung des Eisenglimmers aus dem gegenständlichen Untersuchungsgebiet ausgeschlossen werden kann. Erzproben aus dem Reiflinggraben und aus der Vererzung beim Engelberger zeigten Eisengehalte zwischen 67,2 und 68,3 Prozent.

5.1. Versuch einer genetischen Deutung

Nicht nur im Untersuchungsbereich, sondern auch in den Wölzer Tauern, in der Saualpe und in der Koralpe können Übereinstimmungen im Erscheinungsbild der Vererzungen festgestellt werden. Die Eisenglimmervererzungen der vorhin genannten Gebiete treten stets in einem Gesteinsverband auf, der sich im wesentlichen aus folgenden lithologischen Einheiten zusammensetzt:

Marmore, Glimmerschiefer, Paragneise, Amphibolite und Pegmatite. In der unmittelbaren Umgebung der Vererzungen ist eine Anhäufung von Pegmatitinjektionen zu beobachten. Fehlen die Pegmatite, dann tritt die Vererzung nur mehr in Form feinstverteilter, isolierter Hämatitkörner auf.

Weiters ist das Trägergestein der Vererzung bei allen Eisenglimmervorkommen durch intensive Bruchtektonik zerstückelt. Zumeist handelt es sich bei den Störungen um Zerrklüfte, die große alpine Bruchlinien begleiten. Daneben konnten auch besonders in Marmoren Verwerfungen beobachtet werden, durch die lagergangartige Vererzungen zergliedert werden. Das Auftreten großer tektonischer Lineamente in der Nähe der mittelostalpinen Eisenglimmervererzungen ist ebenfalls typisch. Bei den Vererzungen in den Wölzer Tauern ist es die Pölslinie, in Waldenstein die Lavantstörung und in Hüttenberg die Görttschitzalstörung.

Unter Berücksichtigung aller Fakten können zwei genetische Modelle für die Entstehung der Eisenglimmervererzungen angenommen werden:

- a) hydrothermal
- b) synsedimentär

Hydrothermale Entstehung:

Auf der Seetaler Alpe sind die Hämatitvererzungen ausschließlich an quergreifende Gänge gebunden. Die Erzanreicherungen in Oberzeiring lassen bei Annäherung an die Pölsstörung eine Zunahme des Erzadels erkennen. In Nußdorf wird auch das nichtkarbonatische Nebengestein von vererzten Gängen durchzogen. Die Vererzungen in Waldenstein und Hüttenberg treten entlang von Verwerfungen auf, die ideale Aufstiegsbahnen für Erzlösungen darstellen.

Synsedimentäre Genese:

Das Modell einer primär synsedimentären Entstehung des Hämatits mit seinem

jetzt als Marmor vorliegenden Muttergestein gewinnt aufgrund von Dünnschliffbeobachtungen größere Wahrscheinlichkeit. Zahlreiche feinkörnige Hämatite durchsetzen feinverteilt den vererzten Marmorzug Reiflinggraben—Engelberger. Im Fehlen der Pegmatite im unmittelbaren Bereich der isolierten Hämatitkörner könnte die Ursache zu finden sein, warum es zu keiner Erzanreicherung kam.

Die auftretenden Gesteine des Arbeitsgebietes sind mit Ausnahme der Pegmatite und Amphibolite Metasedimente mariner Herkunft. Aufgrund der Untersuchungen von A. PILGER, N. WEISSENBACH und K. METZ ist deren Alter mit Ordoviz bis Oberdevon anzusetzen.

Für die Anreicherung bzw. Ablagerung von Eisen im marinen Milieu kommen folgende Mechanismen in Frage:

a) *Transport von Eisenlösungen aus Verwitterungsprozessen eines hypothetischen Festlandes in den marinen Ablagerungsraum:*

Nach A. ZITZMANN und CH. NEUMANN-REDLIN kann bereits Hämatit im marinen Milieu bei geeigneten hohen pH- und positiven Eh-Bedingungen entstanden sein. Das Eisen entstammt oberflächennahen, terrestrischen Lagerstätten, die durch Verwitterungsprozesse abgetragen wurden. Eisen in Form von Eisenhumat und Eisenbikarbonat wurde durch Flüsse dem marinen Ablagerungsraum zugeführt. In küstennahen Gebieten werden ausschließlich klastische Nichteisenminerale abgelagert. In weiterer Entfernung von der Küste wird das Eisenhumat zersetzt und Eisenhydrat flockt aus, das als ausgefälltes Gel zu Boden sinkt. Während der Genese wird Eisenhydrat je nach Bildungsbedingungen in Limonit, Chamosit, Siderit, Hämatit, Magnetit oder Pyrit umgewandelt.

b) *Zufuhr von Eisen aufgrund submarin-vulkanischer Prozesse (die Anwesenheit der Amphibolite vergrößert diese Wahrscheinlichkeit):*

Nach A. ZITZMANN zeigen alle zentraleuropäischen Lagerstätten des Devon ähnliche Charakteristika wie der Lahn-Dill-Typus.

- Die Lagerstätten stehen in Beziehung mit Vulkaniten der Spilit-Diabas-Reihe.
- Eisenerzlagerstätten wurden nur in Gebieten gebildet, in denen maximale Mächtigkeiten der Vulkanite aufscheinen.
- Tuffe und Kissenlaven werden von Erzhorizonten überlagert. Über den Erzen folgen marine Sedimente, Tuffe oder Tuffite.
- Kleinräumige Faziesänderungen sind typisch.
- Der Erztypus ändert sich mit der Entfernung zu den Aufstiegsbahnen.
- Das vorherrschende Erzmineral ist Hämatit.

Der bevorzugte Bildungsraum von Eisenerzen aus Eisenhydraten ist im marinen Milieu der Bereich, in dem tonig-mergelige oder sandige bis tonig-mergelige Sedimente abgelagert werden. Selten ist eine Bildung im kalkigen Milieu zu beobachten (A. ZITZMANN, CH. NEUMANN-REDLIN, 1977).

Allerdings gibt es in der Oberpfalz oberkretazische Eisenlagerstätten, die keinem marin-sedimentären Typus zugeordnet werden können. Es handelt sich dabei um Vererzungen in Dolinen und Taschen eines verkarsteten Malm-Kalkes. Das Eisen stammt von einem nahe gelegenen Abtragungsraum.

Ein weiteres Beispiel einer marin-sedimentären Entstehung liefern die Hämatite in den Salzdiapiren der Hormuz-Serie im SE-Iran. H. W. WALTHER (1972) deutet diese Hämatiterze als vulkanogen-sedimentär, weil das Fehlen detritischer Verunreinigungen im Hämatit nur durch einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Vererzung und Magmatismus erklärt werden kann.

Nach Ansicht des Verfassers der vorliegenden Arbeit könnte es sich im untersuchten Gebiet um ehemalige marine Fe-Ablagerungen im karbonatischen Milieu gehandelt haben. Damit ergibt sich folgendes genetisches Modell:

- Feindisperse Anreicherung von Hämatit im Sedimentationsraum bei geeigneten physikochemischen Bedingungen, wobei die Frage nach der Herkunft des Eisens aus einem Abtragungsbereich oder durch submarinen Vulkanismus nicht diskutiert werden soll (heutige Amphibolite?).
- Nach erfolgter Diagenese könnte es im Zuge einer regionalmetamorphen Umprägung und vielleicht auch im Zusammenhang mit dem Eindringen von Pegmatiten zu einer Rekristallisation und Sammelkristallisation der Hämatite gekommen sein. Ob dies in prävariszischen oder variszischen Phasen erfolgte, ist nicht zu entscheiden.
- Im Zuge von Verschuppungen und Überschiebungen (vermutlich variszisch) kam es zur Ausbildung blättchenförmiger Varietäten des Hämatits.
- Eine jungalpidische Reaktivierung der möglicherweise variszisch angelegten, tiefgreifenden Störungen wie der Pöls-Lavant-Linie oder Görttschitztallinie könnte eine weitere Zufuhr von Fe-haltigen Lösungen bewirkt haben, die zur Bildung der Lagerstätten von Oberzeiring und Schmelz führten.
- Eine Bruchtektonik bewirkte die Verwerfungen in den vererzten Marmoren des gegenständlichen Untersuchungsgebietes.

6. Prospektionsarbeiten

Die Ergebnisse der feldgeologischen Kartierung dienten als Basis für geochemische und geophysikalische Prospektionsmethoden. Folgende Erkenntnisse konnten aus der Geologie abgeleitet werden:

- Eisenglimmer tritt im untersuchten Sektor ausschließlich in Marmoren entlang tektonischer Lineamente auf,
- im Bereich der Vererzungen häufen sich die Pegmatitschwärme,
- Hämatit wurde auf allen untersuchten Vorkommen z. T. in Magnetit umgewandelt,
- Leitelemente für eine geochemische Suche wie z. B. Sb, As etc. fehlen.

6.1. Gründe für die Wahl der Prospektionsmethode und Zielsetzung

Als Zielsetzung war zu überprüfen, ob es überhaupt möglich ist, Eisenglimmervererzungen mit modernen Methoden zu prospektieren. An Möglichkeiten standen geophysikalische und geochemische Prospektionsmethoden zur Verfügung. Bei der Auswahl wurde auf den Typ der Vererzung, der aus der geologischen Kartierung bekannt war, Rücksicht genommen. Hinsichtlich der Geochemie wurde versucht, einzig mit Mn und Fe Elemente zu bestimmen, die direkt auf eine Vererzung schließen lassen würden.

Die Probenentnahme von Bachsedimenten schien ebenfalls zielführend zu sein, da mit relativ wenigen Proben Aussagen über das Herkunftsgebiet des Sedimentes respektive die mögliche Vererzung in dem Einzugsgebiet zu gewinnen sind. Leitelemente, die ausschließlich in der Erzparagenese auftreten, konnten nicht gefunden werden. Der Versuch in Waldenstein, As und Sb in die Analysen einzubeziehen, könnte in diesem Lagerstättenrevier zum Erfolg führen, würde aber kaum unter geänderten Lagerstättenbedingungen, wie sie in den Vorkommen der Seetaler Alpen herrschen, zielführend sein. Geophysikalische Untersuchungen, die unter anderem im Gebiet der Seetaler Alpen im Rahmen des Forschungsprojektes

„Tiefbau der Ostalpen“ durchgeführt wurden (K. METZ et al., 1978) ergaben im Bereich S bzw. SW Judenburg z. T. bedeutende Anomalien.

Es erschien daher zielführend, durch Detailmessungen und geologische Detailkartierungen die Anomalien aus der Übersichtsmagnetik interpretieren zu können. Ein weiterer Grund für die Wahl der Geomagnetik war darin zu sehen, daß die Lagerstätte Waldenstein bereits geomagnetisch vermessen wurde und die Ergebnisse somit zu Vergleichszwecken zur Verfügung stehen. Es war anzunehmen, daß die Magnetik als Prospektionsmethode auf Eisenglimmer anwendbar sei, da Magnetit mit Hämatit verwachsen häufig in den Vererzungen in Reifling auftritt.

Obige Aufgabenstellung ergab somit zwei Bereiche: zum einen sollten die oben erwähnten, einer Übersichtsmessung entstammenden Anomalien interpretiert werden, zum anderen sollten mikromagnetische Messungen dazu verwendet werden, eventuelle geochemische Fe-Anomalien zu lokalisieren.

6.2 Geochemie

6.2.1. Probenahme

Die Proben, die für Analysen gezogen wurden, stammen aus zwei Teilgebieten. Das erste Teilgebiet umfaßt Erzproben von Halden, die an drei örtlich verschiedenen Vorkommen (Seetaler Alpe, Reiflinggraben und beim Gehöft Engelberger) genommen wurden.

Die Menge des Probenmaterials umfaßte etwa 3 kg pro Vorkommen, die zerkleinert und geviertelt wurden, um einen repräsentativen Querschnitt durch das gesammelte Material zu erhalten. Aus diesem war die quantitative Verteilung von Fe, Mn, S, Ca, Mg und Si zu ermitteln.

Das zweite Teilgebiet betrifft das Oberflächenentwässerungssystem, aus dem insgesamt 67 Proben stammen. Die Vorgangsweise zur Probenentnahme folgte den von der Geologischen Bundesanstalt 1979 herausgegebenen Richtlinien:

- mindestens drei Probenentnahmestellen pro Probe,
- möglichst großer Anteil an feinkörnigem Material,
- frei von organischen Substanzen,
- aktives Sediment aus tieferem Bereich,
- Probenentnahmestellen an Gabelungen müssen so bestimmt werden, daß eine gegenseitige Beeinflussung der Sedimente aus möglicherweise verschiedenen Einzugsgebieten ausgeschlossen werden kann,
- Kontamination durch einbrechendes Humus-Material soll dadurch verhindert werden, daß der Probenentnahmepunkt entsprechend weit vom Uferbereich entfernt gelegt wird.

In manchen Fällen, besonders in Hochgebirgslagen mit starkem Reliefunterschied, kann den oben angeführten Bedingungen nicht immer gefolgt werden, wodurch man gezwungen ist, auf Kompromisse einzugehen. In einem schnell fließenden Gerinne mit felsigem Untergrund wird man schwerlich mächtige Sedimente finden, sodaß die gewünschte Probenmenge, die mit rund 750 bis 1000 g angenommen werden kann, nur aus einem längeren Abschnitt des Gerinnes (50 m bis 100 m) zu gewinnen ist. Umgekehrt zu diesem Fall ist ein kleines, nahezu stagnierendes Gerinne ebenfalls ungünstig, da der Humusanteil bzw. die organischen Substanzen überwiegen. Mitunter ist es möglich, durch vorsichtiges Entfernen der leichteren organischen „Decklagen“ geringe Mengen an Probenmaterial zu sammeln.

Das Ausmaß der Probenmenge ist keiner Norm unterworfen, doch beträgt das Mindestmaß an feinem Material unter 180μ etwa 50 g. Es ist verständlich, daß bei grobklastischem Geröllschutt, an den feinkörniges Material angelagert sein kann, die

Probenmenge bei weitem größer sein wird, als es bei in einem Sediment vorherrschenden feinen Fraktionen der Fall sein muß.

Unter aktivem Sediment versteht man eine Ablagerung, die entweder laufend entsteht (z. B. im Schutz größerer Blöcke) oder die aus dem letzten höheren Wasserstand resultiert (z. B. nach Regenfällen oder eventuell Schneeschmelzen). Ablagerungen, die während eines Hochwassers gebildet werden (Hochwasser im Sinne einer abnormalen Wasserstandshöhe), müssen nicht repräsentativ sein, da sehr viel Humusmaterial eingeschwemmt sein kann bzw. das Sediment überwiegend aus Material bestehen kann, das aus einem Einzugsgebiet stammt, dessen Lithologie unter normalen Bedingungen nicht primär an der Zusammensetzung des Sediments beteiligt wäre.

Eine Probendichte von etwa 1 Probe/km² erwies sich in unserem alpinen Bereich als ausreichend, um Primärinformationen im Rahmen einer geochemischen Übersichtsprospektion zu erhalten. An sich hängt die Probendichte jedoch von der Aufgabenstellung und der Dichte des Entwässerungsnetzes ab. Im gegenständlichen Fall betrug die Probendichte etwa 3 Proben/km², weil einerseits Primärinformationen bereits durch die Geologie geliefert wurden und andererseits die Lagerungsverhältnisse der erzhöflichen lithologischen Einheiten eine genauere Auflösung der Isolinienkarte erforderten. Eine der Vorbedingungen für eine zielführende Aussage ist es, die Probenentnahmestellen so zu verteilen, daß bei minimaler Probendichte das größtmögliche Einzugsgebiet erfaßt werden kann. Das Ergebnis soll anomale Bereiche in Relation zum Background zeigen, in denen in weiterer Folge Detailuntersuchungen durchgeführt werden, um die Ursache der Anomalie zu klären.

Vielfach kann eine Anomalie auf künstliche Einflüsse zurückgeführt werden, zu denen Mülldeponien und Haushaltsabwässer, aber auch Halden aus aufgelassenen Bergbauen, zu zählen sind. Diese Einflüsse können neben topographischen, morphologischen, geologischen und hydrogeologischen Angaben als Stammdaten erfaßt werden und nach Auswertung der Ergebnisse wertvolle Hinweise bezüglich der Interpretation einer Anomalie liefern.

In diesem Zusammenhang ist es auch nicht empfehlenswert, Proben größeren Gerinnen wie Flüssen zu entnehmen, da eine mögliche anomale Anreicherung eines Elementes nicht mehr zur Primäranreicherung im festen Gebirge hinführt.

6.2.2. Probenvorbereitung

Das Material kommt im nassen bis feuchten Zustand ins Labor, wo es entweder in Luft oder im Trockenschrank getrocknet werden muß. Der Transport der Proben erfolgt zweckmäßigerweise in verstärkten Papiertüten, die einen Feuchtigkeitsaustausch zulassen. Somit kann bereits unmittelbar nach der Aufnahme der Proben in die Säcke der Trocknungsprozeß beginnen.

Plastikbeutel können notfalls verwendet werden; nur muß man mit einem länger dauernden Trocknungsprozeß im Labor rechnen, da das gesamte im Plastikbeutel mitaufgenommene Wasser nicht verdunsten kann.

Nach den Richtlinien der GBA soll die Trocknungstemperatur nicht mehr als 80° C betragen, weil ansonsten die leicht flüchtigen Elemente (z. B. Hg) verdunsten. Der Trocknungsvorgang kann dadurch beschleunigt werden, daß man das Probenmaterial dünnlagig auf Papptellern ausbreitet. Die Dauer, bis das Material vollständig getrocknet ist, beträgt je nach Luftfeuchtigkeit rund 3 bis 6 Wochen. Danach wird die Probenmenge in mehrere Kornklassen abgesiebt. Die derzeit tolerierte Korngröße für Analysenzwecke darf bei Stream-Sediment-Proben 180 µ

nicht überschreiten. Die von mir genommenen Proben wurden auf unter $160\ \mu$ abgeseibt.

Größere Fraktionen können untersucht werden, um den Gesteinsverband des Einzugsgebietes zu bestimmen. Die Kornfraktion kleiner $160\ \mu$ wird auf eine Menge geviertelt, die für Analyse und Archivierung ausreichend ist. Je nach den zu erwartenden Analysenwerten wird die für die Untersuchung notwendige Menge variiert. Die GBA empfiehlt mindestens 40 g des feinen Probenmaterials für Analysen- und Dokumentationszwecke. Der chemische Aufschluß des an Tonfraktionen adsorbierten Eisens und Mangans wurde nach folgender Vorgangsweise erzielt:

- 1 g Probe wurde mit 5 ml HCl und 3 ml HNO₃ versetzt und 1 Stunde lang im Wasserbad auf 85° C erhitzt, um einerseits die zu untersuchenden Metalle in Lösung zu bringen und andererseits organische Substanzen zu eliminieren.
- Für die Bestimmung des Eisengehaltes mußte die Lösung nach einmaligem Abfiltrieren auf 1 : 4000 verdünnt werden, um in den für die Analyse optimalen Bereich der Eichkurve zu fallen.
- Bei Mangan betrug der Verdünnungsfaktor 1 : 120.

Die Lösungen wurden mit dem Atomabsorptionsspektrophotometer am Institut für Allgemeine und Anorganische Chemie auf Eisen und Mangan untersucht.

6.2.3. Analyse

6.2.3.1. Erzproben

Aus drei verschiedenen Eisenglimmervorkommen wurden Proben genommen, um die Gehalte an Fe, Mn, S, Ca, Mg und Si miteinander vergleichen zu können. Die Proben stammen durchwegs aus dem Haldenmaterial, da im Anstehenden keine repräsentativen Proben der Vererzung zu finden waren.

Ergebnis: Die Probe von der früher betriebenen Eisenlagerstätte Seetaler Alpe wurde nur zu Vergleichszwecken herangezogen und soll keine Aussage über eine mögliche Wirtschaftlichkeit der Lagerstätte liefern.

Die Proben zeigen durchwegs hohe Fe-Gehalte, Mangan tritt stets unter 0,1 % auf, S in Form von Pyrit ist im Reiflinggraben mit Eisenglanz verwachsen und ist in den Erzen der Lagerstätte Seetaler Alpe nur untergeordnet anzutreffen. In der folgenden Tabelle sind die Analysenergebnisse zusammengefaßt.

Tab. 1: Chemische Analyse der Erzproben (Reifling, Seetaler Alpe).

Vorkommen	Gehalte in %					
	Fe	Mn	S	Ca	Mg	Si
Reiflinggraben	68,3	0,1	0,12	0,3	0,5	0,2
Engelberger	67,2	0,1	0,04	0,2	0,5	0,5
Seetaler Alpe	66,5	0,1	0,01	0,1	0,4	0,9

Zum Unterschied von den beiden Proben aus der Gemeinde Reifling ist der Gehalt an Si in der Probe Seetaler Alpe bei geringerem Fe-Gehalt höher, während umgekehrt Ca und Mg, die in Form von Karbonaten vorliegen, zurücktreten.

6.2.3.2. Stream-Sediments-Proben

6.2.3.2.1. Analyse auf Eisen

6.2.3.2.1.1. Allgemeine Aspekte

Die Häufigkeit des Eisens in Metamorphiten ließe erwarten, daß die Verteilung in den Sedimenten eine relativ einheitliche ist. Eisen ist z. B. im Biotit und Granat vorhanden, Minerale, die in metamorphen Schiefen recht häufig vorkommen. Bei der Verwitterung und Auflösung dieser Minerale wird das Eisen als Eisenoxid frei und geht in Lösung. Der Abtransport erfolgt z. B. durch das Oberflächenentwässerungssystem. Die Eisenoxide können sowohl als stabilisierte Kolloide als auch als adsorbierte Beläge detritischer Teilchen im Wasser auftreten.

Die Tonminerale haben wie allgemein bei Metallen in Flußsedimenten auch auf die Stabilisierung der Eisenoxiddkolloide großen Einfluß. Bedingt durch die große spezifische Oberfläche können Kolloide leicht adsorptiv gebunden werden.

Eisenführende Silikate und Magnetit, die nicht vollständig chemisch zersetzt wurden, werden in Form kleiner detritischer Teilchen abtransportiert.

Eisensulfide sind nicht widerstandsfähig gegen chemische Zersetzung und somit auch kaum im Feinkornanteil eines Sediments anzutreffen.

Daraus kann man schließen, daß in der Tonfraktion eines Sediments, dessen Mineralbestand sich aus zersetzten metamorphen Gesteinen aufbaut, sowohl Eisen aus Sulfiden und Sulfaten als auch aus oxidischen und hydroxidischen Erzmineralen (außer Magnetit) adsorptiv an Tonminerale gebunden, auftreten kann. Während der Ablagerung in ruhigen, nicht turbulenten Bereichen der Entwässerungsrinnen tritt eine Differenzierung der verschiedenen Erscheinungsformen ein, d. h. detritische Eisenpartikel gehen in die Schwermineralfraktion, und von Tonmineralen adsorptierte Eisenoxide bilden in der Regel die leichteren Komponenten eines Sediments (ohne Berücksichtigung organischer Substanzen, die den obersten Abschnitt eines Sediments aufbauen).

Die in dieser Arbeit gestellte Aufgabe, eine Übersichtsprospektionsmethode zu wählen, mit der höffige Gebiete abzugrenzen sind, basiert auf der Annahme, daß eine im Einzugsbereich des Entwässerungsnetzes angeschnittene Eisenglimmervererzung trotz Häufigkeit und Mobilität des Eisens und der damit verbundenen großen Dispersionshöfe anomale Bereiche liefern müßte.

6.2.3.2.1.2. Analysenergebnisse

Die Proben wurden mittels eines Zweistrahl-AAS der Marke Perkin Elmer Typ 400 analysiert. Aus der Vielzahl der für Eisen möglichen Resonanzlinien wurde die am häufigsten verwendete gewählt, die eine Wellenlänge von 248,3 nm besitzt und eine Nachweisgrenze von 0,01 µg/ml bei einer spektralen Spaltbreite von 0,2 nm liefert. Um die Genauigkeit der erhaltenen Ergebnisse zu erhöhen, wurden mehrere, im Zweifelsfall bis zu 5 Messungen jeweils mit einer Integrationszeit von 10 Sekunden durchgeführt. Das arithmetische Mittel aus diesen Teilmessungen erbrachte den Durchschnittswert der Probe. In der nachstehenden Tabelle sind die Eisengehalte der Stream-Sediment-Proben zusammengefaßt.

Tab. 2: Eisengehalte der Stream-Sediment-Proben

Fe-Gehalt in % in den Bachsedimenten					
Proben-Nr.	Gehalt (%)	Proben-Nr.	Gehalt (%)	Proben-Nr.	Gehalt (%)
1	1,85	24	1,64	47	1,98
2	1,96	25	1,36	48	1,69
3	1,55	26	1,37	49	1,67
4	2,24	27	1,46	50	1,26
5	1,99	28	1,24	51	1,66
6	1,34	29	1,17	52	1,18
7	1,57	30	1,22	53	1,21
8	1,45	31	0,97	54	0,55
9	1,56	32	1,51	55	0,55
10	1,53	33	2,11	56	1,73
11	1,56	34	1,49	57	1,61
12	1,96	35	1,44	58	1,32
13	1,43	36	1,23	59	1,74
14	1,97	37	1,20	60	1,86
15	1,58	38	1,33	61	1,73
16	1,77	39	1,50	62	1,68
17	1,60	40	1,86	63	1,94
18	1,63	41	1,10	64	1,94
19	0,87	42	1,13	65	1,66
20	1,50	43	1,42	66	0,94
21	1,52	44	1,37	67	1,39
22	1,46	45	1,55		
23	1,35	46	1,90		

Interpretation:

Der Bereich, in dem die Gehalte schwanken, liegt zwischen 0,55 % und 2,24 %.

Die Daten wurden in einem Histogramm dargestellt, in dem auf der Abszisse die Klassen aufgetragen sind; die linke Ordinate gibt die Klassenhäufigkeit an, die rechte den Faktor, mit dem die Klassenbreite multipliziert werden muß, um die relative Häufigkeit zu erhalten (s. Abb. 1).

Da die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert der Proben nur etwa den dreifachen Betrag des niedrigsten Wertes erreicht, erwies sich eine Klasseneinteilung in 10 Klassen als ausreichend. Die Klassenbreite ist 0,2 %. Somit umfassen die Klassen den Bereich von 0,5 bis 0,7 %, 0,7 bis 0,9 %, 0,9 bis 1,1 %, 1,1 bis 1,3 %, 1,3 bis 1,5 %, 1,5 bis 1,7 %, 1,7 bis 1,9 %, 1,9 bis 2,1 % und 2,1 bis 2,3 %.

Die Skala der linken Ordinate wurde so gewählt, daß die Einteilung der rechten Ordinate als ganzzahliges Vielfaches einer Längeneinheit erfolgen konnte. Die Einteilung der rechten Ordinate mag verwirrend erscheinen, zumal die Werte über 1,00 liegen und deshalb nicht identisch mit der relativen Häufigkeit sein können. Diese Skalierung resultiert aber aus der Forderung nach einem Integral von 1 der gesamten Teilflächen des Histogrammes. Die Ablesung der absoluten Häufigkeit einer Klasse in Prozent erfolgt dadurch, daß man die Klassenbreite mit dem Wert auf der rechten Ordinate und mit 100 multipliziert.

Das arithmetische Mittel des Probenumfanges beträgt 1,51 %, die Standardabweichung 0,33% und die Varianz 0,11%. Diese Werte waren für die Berechnung der Gauß'schen Verteilung notwendig. Für die einzelnen Klassenmittelpunkte und den Mittelwert wurden die entsprechenden Werte der Normalverteilung nach der Formel:

$$n(X; \bar{X}, s) = \frac{1}{s \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(X - \bar{X})^2}{2s^2}}$$

errechnet. Die Kurve ist um den Mittelwert symmetrisch.

Mit Hilfe der Standardabweichung lassen sich rechnerisch die anomalen Bereiche vom Background- bzw. Schwellenwert abtrennen. Ob diese Methode allgemeine Gültigkeit besitzt oder nur bei einer bestimmten Probenmenge o. ä. funktioniert, wurde nicht näher untersucht. Man geht davon aus, daß die Mehrzahl der Proben (genau 68,27 %) zwischen $\bar{X} - s$ und $\bar{X} + s$ liegen. Dieser Bereich wäre als Background anzusehen. Die Fläche zwischen $\bar{X} + 2s$ und $\bar{X} - 2s$ umfaßt weitere 27,18 %, die die Übergangszone zwischen Background und Anomalie oder den sogenannten Schwellenwert darstellen. Die verbleibenden 4,55 % der Werte setzen sich aus anomal niedrigen und hohen Werten gleichermaßen zusammen. Nach dieser Methode würden alle Fe-Gehalte über 2,17 % anomal sein.

Selbstverständlich kann der Übergang von Schwellenwert zu Anomalie nicht als abrupte Grenze angesehen werden, sondern muß als fließender Übergang betrachtet werden. Wie sich bei der Überprüfung einzelner hoher, aber außerhalb der errechneten Anomalie liegender Werte zeigte, konnten natürliche, von Vererzungen stammende Anomalien bereits ab 1,8 % auftreten. Dieser z. T. subjektiven Bewertung wurde in einer Isolinenkarte Rechnung getragen.

Eine andere Methode, die ähnlichen Richtlinien folgt, beschreibt L. SACHS (1968): „Bei großen Stichprobenumfängen liegen etwa 90% zwischen $-1,645 s$ und $+ 1,645 s$. Dieses Intervall ist deshalb wünschenswert, weil man die außerhalb liegenden Fälle als nicht mehr „normal“ auffassen kann. Die Grenzen $-0,675 s$ und $+ 0,675 s$ werden als wahrscheinliche Abweichung bezeichnet; in diesem Intervall liegen 50 % aller Beobachtungen.“

Wenn man 50 % und 90 % in die Normalverteilung der hier beschriebenen Fe-Werte einträgt, würden als anomale Werte alle jene Werte bezeichnet werden, die größer als 2,05 % sind. Normale Werte würden im Bereich zwischen 1,73 % und 1,29 % liegen. Werte zwischen 1,73 % und 2,05 % fallen nach dieser Methode in den oberen Schwellenbereich.

Daneben existieren noch weitere Methoden zur rechnerischen Abgrenzung von Anomalien, z. B. eine Theorie, daß die in einer kumulativen Häufigkeitskurve auftretenden Wendepunkte Indikatoren für den Umfang der Background-, Schwellen- und Anomaliebereiche wären.

Zweifellos ist jede dieser Methoden und Theorien für Teilbereiche der Geostatistik anwendbar, doch ist zu bedenken, daß unzählige Faktoren nicht nur geologischer und morphologischer Natur, sondern auch die Art der Probenahme, der Probenumfang sowie der Grad der Systematik bei der Probenahme die statistische Auswertung entscheidend beeinflussen und damit ein a priori Schema, das allgemein gültig ist, nicht zulassen.

Die durch die oben beschriebene Auswertung der Stream-Sediments-Proben erhaltenen Anomalien konnten zum Großteil sowohl geologisch verifiziert als auch mit den geomagnetischen Anomalien korreliert werden. Die Vererzungen im Reiflinggraben und beim Gehöft Engelberger verursachen schwächere Anomalien im Vergleich zu der im Irrwald zwischen Reiflinggraben und Oberweg beobachtbaren Anomalie, die nicht auf Vererzungen zurückzuführen ist, sondern deren Ursache im Magnetitgehalt der Amphibolite liegt. In diesem Bereich wurden deshalb auch keine geomagnetischen Profile gemessen.

Histogramm und Normalverteilung der Fe-Gehalte

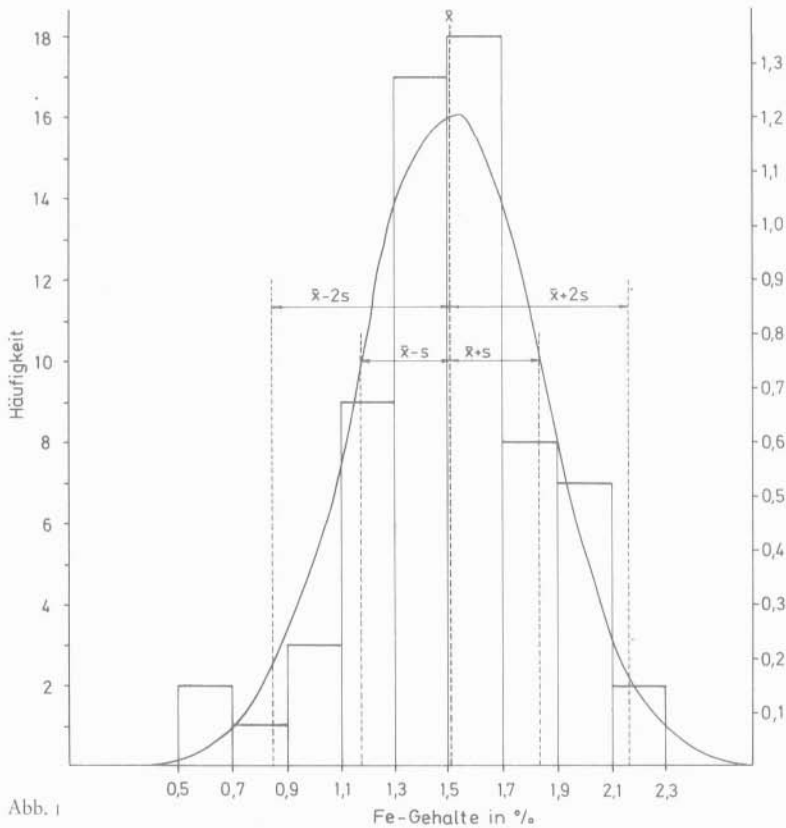


Abb. 1

6.2.3.2.2. Analyse auf Mangan

6.2.3.2.2.1. Allgemeine Aspekte

Die Konzentration an Mangan in Metamorphiten erhöht sich entsprechend der Zunahme des mafischen Charakters der Gesteine. Der durchschnittliche Gehalt an Mangan in weltweit gesammelten Glimmerschiefer- und Gneisproben beträgt 775 ppm. Amphibolite aus einigen Vorkommen der Ostalpen (J. JANDA et al., 1965) zeigten einen Mn-Gehalt von 1543 ppm. Die Verteilung des MnO in Biotiten und Hornblenden hoch- und schwachmetamorpher Gesteine ist im folgenden Diagramm (Abb. 2) dargestellt.

Das zweiwertige Mangan kann wegen ähnlicher kristallchemischer Eigenschaften Elemente wie Fe^{2+} , Mg^{2+} und Ca^{2+} in metamorphen Mineralen ersetzen. Eigene

Manganminerale in metamorphen Gesteinen sind abgesehen vom Spessartin und Calderit nicht häufig anzutreffen. Spessartin kann weiters im Pegmatit zusammen mit Glimmer vorkommen, der bis zu 4 % MnO enthalten kann. Untersuchungen an 9 Biotitproben aus Quarzdioriten und Gneisen des Großvenediger Bereiches (ACKERMAND & HÖRMAN, 1973) ergaben einen Mn-Gehalt zwischen 1780 ppm und 3875 ppm.

Einem im Jahr 1899 für die Alpine Donawitz verfaßten Gutachten zufolge (Verfasser unbekannt) ist das Eisenglimmervorkommen Reifling sehr reich an Mangan. Dieser offensichtliche Zusammenhang führte zur Aufgabenstellung, neben dem Fe-Gehalt auch den Mn-Gehalt zu prüfen.

Mangan ist schwerer löslich als Eisen, weshalb auch die vollständige chemische Zersetzung später als die des Eisens erfolgt. Dabei handelt es sich hauptsächlich um

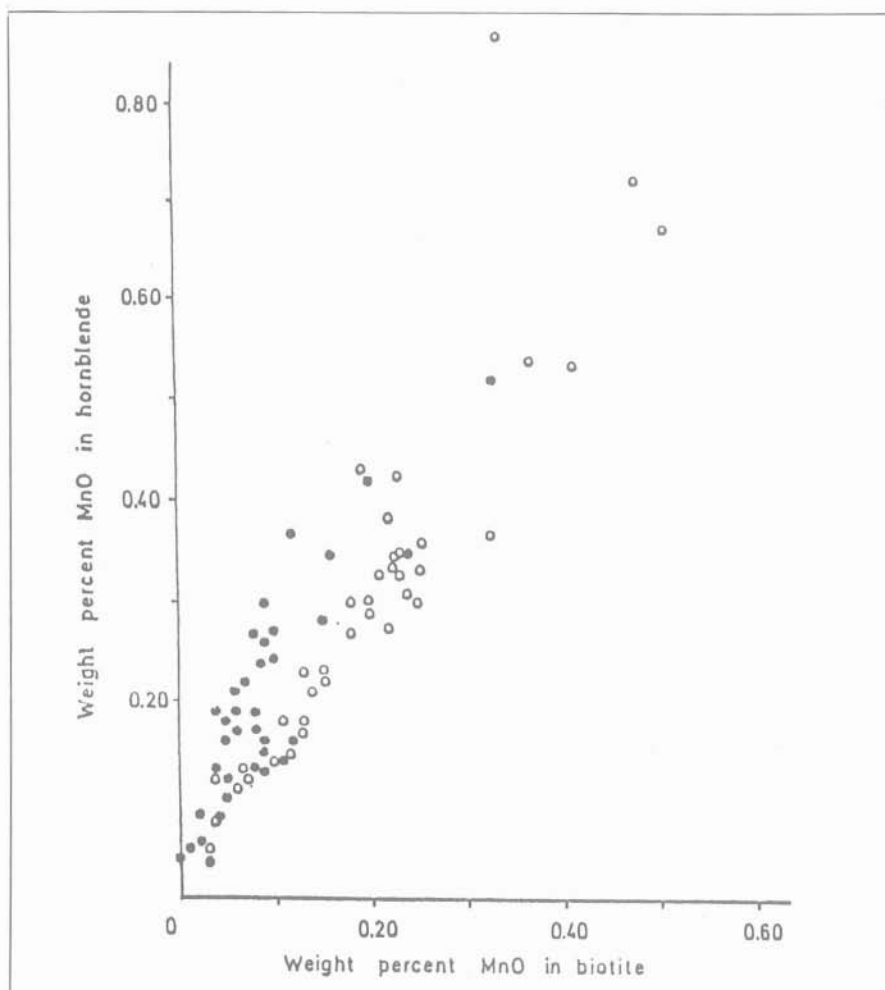


Abb. 2: Die Verteilung des MnO in schwachmetamorphen (Ringe) und mittel- bis starkmetamorphen Gesteinen (Punkte); in K. H. WEDEPOHL (1978)

Mn²⁺, welches mobilisiert werden kann, während Mn⁴⁺ geringlösliche Oxide bildet und dadurch im Lokalbereich der Verwitterung verbleibt.

6.2.3.2.2.2. Analysenergebnisse

Die Analysen wurden auf demselben Gerät durchgeführt, wie in 6.2.3.2.1.2. angegeben. Als Energie für die Flamme diente ein Luft-Acetylen-Gemisch, das ohne größere Schwierigkeiten eine Bestimmung ermöglichte. Die größte Empfindlichkeit wurde durch die Verwendung der 279,5 nm Resonanzlinie erreicht. Die Vorgangsweise bei der Analyse auf Mangan erfolgte gleich wie bei der Analyse auf Eisen durch mehrere Messungen mit je 10 Sekunden Integrationszeit. Die Manganwerte sind aus der Tabelle ersichtlich.

Diskussion:

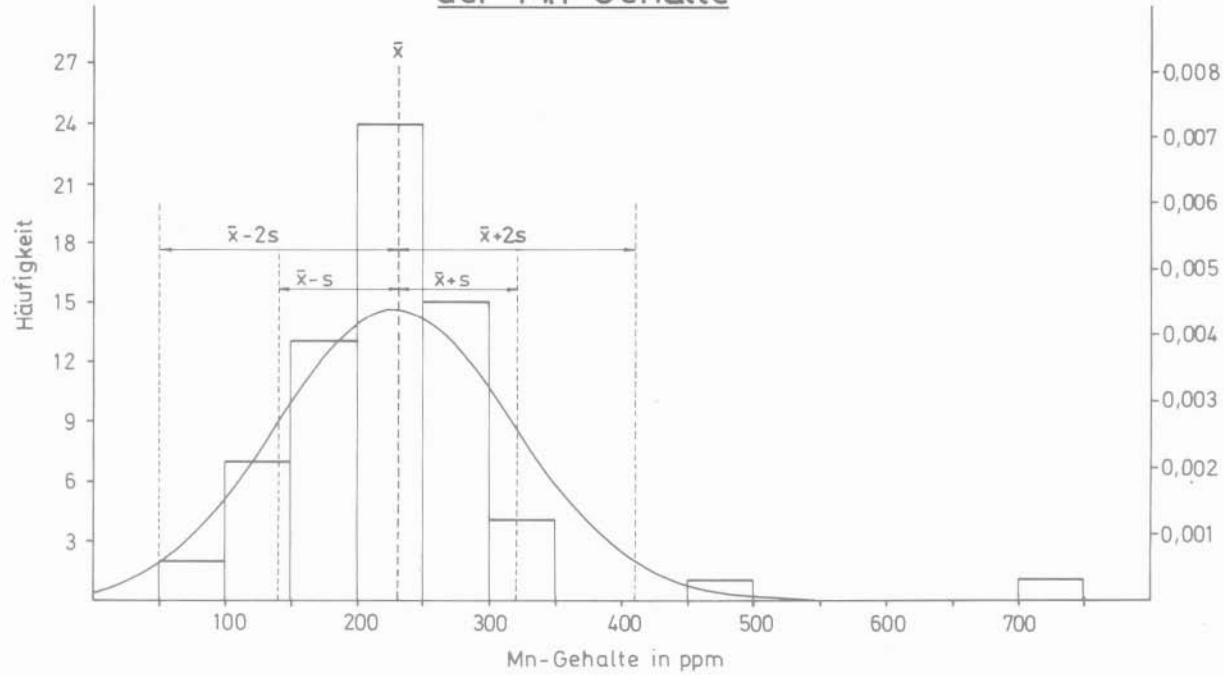
Die Gehalte an Mangan schwanken zwischen 84 ppm und 706 ppm. Der erhaltene Mittelwert von 230 ppm läßt sich gut mit den durchschnittlichen Mn-Gehalten in tonigen Sedimenten mit rund 3 % organischem Anteil vergleichen. Der Vergleichswert stammt von 779 Schwarzschiefer-Proben aus Nordamerika und beträgt 150 ppm (VINE & TOURTELOT, 1970). Der höhere Mittelwert meiner Proben

Tab. 3: Mangangehalte der Stream-Sediment-Proben

Mn-Gehalt in ppm in den Bachsedimenten			
Proben-Nr.	Gehalt (ppm)	Proben-Nr.	Gehalt (ppm)
1	246	35	224
2	282	36	189
3	224	37	146
4	298	38	153
5	285	39	195
6	223	40	198
7	289	41	196
8	224	42	127
9	214	43	205
10	315	44	136
11	207	45	219
12	706	46	301
13	240	47	268
14	333	48	241
15	243	49	250
16	214	50	227
17	244	51	255
18	202	52	195
19	104	53	196
20	219	54	84
21	284	55	89
22	200	56	271
23	209	57	251
24	211	58	246
25	163	59	266
26	175	60	251
27	182	61	259
28	157	62	228
29	136	63	269
30	133	64	257
31	104	65	495
32	194	66	215
33	338	67	245
34	295		

Abb. 3

Histogramm und Normalverteilung der Mn-Gehalte



ist auf eine Vermischung mehrerer lithologischer Einheiten zurückzuführen. Der Mangengehalt in tonigen Sedimenten ist umgekehrt proportional zum organischen Kohlenstoff. Eine Verminderung des C-Anteils in den Tonen auf weniger als 3 % bewirkt ein graduelles Ansteigen des Mn-Gehaltes auf etwa 600 ppm in C-armen Tonen. Kalke bzw. Marmore im Feinstanteil eines Sediments besitzen durchschnittlich 550 ppm Mn.

Die Daten wurden sowohl in Isolinenform graphisch veranschaulicht als auch statistisch ausgewertet. Die Datenmenge wurde in 14 Klassen mit einer Klassenbreite von 50 ppm eingeteilt. Rund 2 % der Daten können als Mammutwerte bezeichnet werden, die als nicht repräsentativ für die Grundgesamtheit gelten.

In der Abb. 3 ist die Verteilung der Werte in Form eines Histogrammes dargestellt. Die auf der Abszisse eingeteilten Klassen berücksichtigen auch die zwei extrem hohen Werte, die den Verlauf der über das Histogramm gezeichneten Normalverteilungskurve insofern beeinflussen, als die Kurve flacher wird. Damit wird auch die Varianz bzw. die Standardabweichung größer, und der Mittelwert verschiebt sich leicht nach rechts.

Wie aus dem ermittelten gewichteten Mittelwert ersichtlich, der nach der Formel

$$\frac{1}{f_i} \sum_{i=1}^k f_i m_i$$

ermittelt wurde, beträgt jedoch die Differenz zum arithmetischen Mittel nur 1 ppm und ist somit vernachlässigbar klein. In der obigen Formel sind f_i die Häufigkeit der Werte in einer Klasse und m_i der Mittelpunkt der i -ten Klasse. Die Varianz und die Standardabweichung wurden sowohl gewichtet als auch arithmetisch ermittelt.

Tabelle 4 gibt eine Zusammenstellung der Werte für gewichtete und ungewichtete Mittelwerte, Varianz und Standardabweichung.

Tab. 4: Mittelwerte, Varianz und Standardabweichung

	gewichtet	ungewichtet
Mittelwert	229 ppm	230 ppm
Varianz	7 692	8 009
Standardabweichung	88 ppm	90 ppm

Bei der rechnerischen Ermittlung der Anomaliebereiche wurde mit den ungewichteten Daten operiert, um die Anomalien weiter eingrenzen zu können.

Folgt man denselben Methoden, wie sie bei Eisen für die Errechnung einer Anomalie angewendet wurden, so ergeben sich folgende Werte:

	Methode I*)	Methode II*)	Ergebnis aus der Isolinenkarte
Mn-Anomalie	410 ppm	378 ppm	300 ppm
Mn-Schwellenwert	320—410 ppm	291—378 ppm	180—300 ppm
Mn-Background	140—320 ppm	169—291 ppm	ca. 180 ppm

*) Methode I: Anomalie = $\bar{x} + 2s$
 Schwellenwert = $(\bar{x} + s)$ bis $(\bar{x} + 2s)$
 Background = $(\bar{x} - s)$ bis $(\bar{x} + s)$

*) Methode II: Anomalie = $\bar{x} + 1,645s$
 Schwellenwert = $(\bar{x} + 0,675s)$ bis $(\bar{x} + 1,645s)$
 Background = $(\bar{x} - 0,675s)$ bis $(\bar{x} + 0,675s)$

Die Werte der 3. Spalte basieren auf subjektiver Interpretation. Der anomale Bereich kann mit 300ppm angenommen werden, wodurch sich eine gute Übereinstimmung mit den Fe-Anomalien zeigt.

6.2.3.2.3. Korrelation zwischen Fe und Mn

Eine Korrelation zwischen Fe und Mn wurde durchgeführt, um die Frage zu klären, ob Fe und Mn zusammen Indikationen für Hoffungsgebiete liefern könnten. Durch Bestimmung der Regressionsgeraden und des Korrelationskoeffizienten zeigte sich, daß Fe mit Mn besser korrelierbar ist als umgekehrt. Somit wäre es künftig möglich, mit Hilfe der errechneten Geradengleichung $x = 0,9517 + 0,0024 y$ aus Mn-Gehalten auf Fe-Gehalte zu schließen.

Als Begleitergebnis der Fe: Mn-Korrelation zeigte sich, daß in den Bachsedimenten ein ähnliches Fe: Mn-Verhältnis vorliegt wie im festen Gesteinsverband. Das bedeutet, daß das Verhältnis Eisen zu Mangan durch die Verwitterung nicht beeinflusst wird.

6.3. Geophysikalische Untersuchungen

Von den verfügbaren Verfahren der geophysikalischen Prospektion wurde die Geomagnetik gewählt, weil aufgrund des festgestellten hohen Suszeptibilitätskontrastes zwischen Marmor und Eisenglimmer die Voraussetzung für eine Abtrennung anomaler Bereiche gegeben war. Mit den bekannten geologischen Daten konnten die Profile im Gelände so gelegt werden, daß sie mit größter Wahrscheinlichkeit eine mögliche Fortsetzung der Vererzungen treffen sollten. Mit mehreren Profilen wurde auch die Möglichkeit einer Vererzung im Nebengestein geprüft. Positive Ergebnisse zeigten die Meßprofile im Reiflinggraben, was eine Fortsetzung der dortigen Vererzung indiziert. Darüber hinaus konnte aus dem Erscheinungsbild der Anomalien interpretiert werden, daß im Bereich des Reiflinggrabens voraussichtlich zwei parallele, lagergangartige Vererzungen vorhanden sind.

In den Meßprofilen beim Gehöft Engelberger verschleierten NNE-SSW verlaufende Brüche mögliche Anomalien. Undeutliche Anomaliebereiche könnten z. T. auf Vererzungen zurückzuführen sein. Dafür spräche auch das Auftreten von geringfügigen anstehenden Vererzungen hangaufwärts der Meßprofile.

Die Ergebnisse der im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Geologischer Tiefbau der Ostalpen“ im Kristallin am SW-Rand des Knittelfelder-Fohnsdorfer Beckens durchgeführten gravimetrischen Messungen zeigten keine anomalen Bereiche auf, in denen Eisenglimmer vermutet werden könnte. Eine im Jahre 1899 vermutete Fe-Vererzung zwischen Oberweg und Reiflinggraben wäre nur dann mittels gravimetrischer Detailaufnahmen erkennbar, wenn die Mächtigkeit der Vererzung ausreichend wäre, um ein Schwerehoch zu verursachen.

7. Aufbereitungsversuche

Aufbereitungstechnische Untersuchungen durch den Verfasser sollten das Verhalten des Eisenglimmers bei der Mahlung zeigen und weiters den Aufwand prüfen, mittels welchem hochwertiges Eisenglimmerkonzentrat hergestellt werden könnte. In drei Aufbereitungsgängen wurden die Erzproben gebrochen, gemahlen und in einem FRANTZ-Isodynamic-Scheider in Suszeptibilitätsklassen zerlegt. Schon bei der Grobzerkleinerung zeigte sich das Fehlen einer jeglichen Tendenz zur selektiven Zerkleinerung. Im darauf folgenden Mahlgang auf unter 1 mm ging die

Blättchenstruktur der Eisenglimmer teilweise verloren. Das Feingut wurde in Suszeptibilitätsklassen zerlegt, von denen für die abschließende Auswertung Streupräparate angefertigt wurden. Dabei ergab sich, daß schon bei geringer Erzeugerstromstärke erste Verwachsungen von Pyrit mit Hämatit auftauchten. Hämatit ist größtenteils in Magnetit umgewandelt. Bei steigender Stromstärke nimmt Pyrit zu, und die Umwandlungsprodukte von Hämatit und Magnetit treten zurück.

Aufgrund ähnlicher Trenneigenschaften von Hämatit und Limonit werden die Streupräparate der mittleren Suszeptibilitätsklassen hauptsächlich von diesen beiden Mineralen aufgebaut, wobei der Limonit in steigendem Ausmaß aus der Verwitterung des Pyrits entstand. Die nichtmagnetischen Anteile der Proben bestehen überwiegend aus Pyrit neben vereinzelt auftretendem Quarz. Im Gegensatz zu den Eisenglimmern in Waldenstein fehlen in den Verzungen vom Reiflingergraben und vom Engelberger Chlorit. Dieser Faktor wird als bedeutsam erachtet, weil das Vorhandensein von Chloriten zu aufbereitungstechnischen Schwierigkeiten führen kann (siehe Waldenstein).

Die Voraussetzung für die Verwendung von Eisenglimmer als Rostschuttpigment ist u. a. eine Blättchenstruktur, die auch unter Feinmahlung auf 63μ erhalten bleibt. Auch diese Bedingung kann von den Reiflinger Erzproben nur zum Teil erfüllt werden. Selbst bei $0,3 \text{ mm}$ Korngröße treten tafelige Eisenglimmer und massige Hämatitkörner auf, die bei weiterer Zerkleinerung Roteisenpigment bilden würden und somit als Rostschuttpigment mit den Vorzügen des Waldensteiner Eisenglimmers nicht in Frage kommen.

Diese Grundbedingung muß bereits in der Erzausbildung in der Lagerstätte vorhanden sein und kann nicht auf aufbereitungstechnischem Weg erreicht werden.

8. Kritische Betrachtung der Prospektionsmethoden

Bei der Entwicklung eines Prospektionschemas, das möglichst für alle vermuteten Eisenglimmerlagerstätten in den Zentralalpen zur Anwendung kommen kann, müssen Antworten auf folgende Fragen vorliegen:

- a) An welche lithologischen Einheiten sind die Verzungen geknüpft?
- b) Gibt es Spurenelemente, die immer in der Erzparagenese aufscheinen und somit als Leitelemente dienen können?
- c) Besitzt das Erz neben seiner höheren Dichte noch weitere physikalische Eigenschaften (z. B. magnetisch), die durch Prospektionsmethoden angesprochen werden können?
- d) Falls die Verzung in Begleitung von Magnetit auftritt, ist der Suszeptibilitätskontrast ausreichend hoch, um geomagnetische Anomalien zu verursachen?

Zu a) Vorliegenden Untersuchungen zufolge sind fast immer Marmore Träger der Verzungen. Nur in wenigen Ausnahmen (besonders bei hydrothermalen Gängen wie auf der Seetaler Alpe) durchdringen die Verzungen gangartig das Nebengestein. Die Überlegungen in Kapitel 5.1 zeigen, daß eine synsedimentäre Anlage des Eisenglimmers nicht ausgeschlossen werden kann.

Das genetische Modell von Eisenglimmerlagerstätten hat für anzuwendende Prospektionsverfahren nur insofern Bedeutung, als grundsätzlich alle Marmore mit zusammen auftretenden Pegmatiten als potentielle Träger von Hämatitmineralisationen in Frage kommen.

Für die Effizienz der künftigen Prospektionsmethoden wäre es von großer Bedeutung den Chemismus zu klären, der bei der Entstehung von Eisenglimmerlagerstätten vorgeherrscht haben mag.

(Die derzeitige Untersuchung der Eisenglimmerlagerstätte Waldenstein könnte zur Klärung dieser Frage beitragen.)

Ein feldgeologischer Gesichtspunkt für Sucharbeiten ist das Auftreten von großen alpinen Bruchlinien in der Nähe der Vererzungen (z. B. ist die Pölslinie ein dominierendes tektonisches Lineament, dem die Vererzungen in Oberzeiring und Nußdorf zugeordnet werden können).

Waldenstein wird durch Begleitbrüche der gewaltigen Lavanttal-Störung beeinflußt. Hüttenberg schließlich, bzw. St. Martin, grenzt im Westen an die Görttschitztal-Störung: Dort finden sich laut Mitteilung von Herrn Doz. H. WENINGER Quergänge mit 1 m mächtigen Sideriterzen.

Auch eine genauere Kenntnis der Lagerstättenform von Eisenglimmervorkommen kann künftige Prospektionsarbeiten erleichtern.

Zu b) Die bei der geochemischen Prospektion gesammelten Proben wurden ausschließlich auf Fe und Mn analysiert. Künftig jedoch könnte eine Bestimmung der in der Paragenese auftretenden Spurenelemente Leitelemente erkennen lassen, die bessere Hinweise auf Eisenglimmervorkommen geben. Allerdings zeigen Vergleiche mit anderen Hämatitvererzungen der Ostalpen, daß generell verwendbare Leitminerale nicht auftreten, vermutlich werden solche nur für bestimmte einzelne Erzbezirke anwendbar sein: Z. B. könnte für die Lagerstätte Waldenstein eine Analyse auf Sb für das Auffinden neuer Vererzungen erfolgreich sein. Andererseits wurden in den bearbeiteten Vererzungen von Nußdorf oder von der Hansental keine Antimonerze beobachtet, sodaß Sb hier als Leitelement ausfällt.

Die Analysen auf Fe und Mn im Untersuchungsgebiet zeigten Anomaliebereiche auf, die mit Hilfe von Geophysik und feldgeologischen Untersuchungen weiter untersucht wurden.

Zu c) und d) Zur Frage der geophysikalischen Eigenschaften des Erzes muß bemerkt werden, daß Magnetitanreicherungen als Umwandlungsprodukt von Hämatit durch reduzierende Lösungen ebenfalls nur in räumlich begrenzten Gebieten vorkommen. So etwa in Waldenstein, in Nußdorf und in den Vererzungen des untersuchten Gebietes. Somit kann Magnetik generell nicht zum Einsatz kommen, empfiehlt sich aber dort, wo geologische Untersuchungen Magnetitanreicherung erkennen lassen.

Im Fall von Marmoren als Trägergestein ist auch der entsprechend hohe Suszeptibilitätskontrast zur Vererzung gegeben, wodurch geomagnetische Anomalien hervortreten.

Bei einer geomagnetischen Prospektion muß unbedingt Rücksicht genommen werden auf die Lithologie der umliegenden Bereiche. Amphibolite z. B. können das Erscheinungsbild der magnetischen Vertikalintensität derart bestimmen, daß durch Vererzungen verursachte Anomalien nicht zum Vorschein kommen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß eine Prospektion auf Eisenglimmer im Mittelostalpin der Ostalpen am ehesten zielführend sein wird, wenn

— Marmore in einem ähnlichen Gesteinsverband wie er in den Wölzer Tauern, den Seetaler Alpen, der Saualpe und der Koralpe vorhanden ist, auftreten und genau auskartiert worden sind;

— eine geochemische Übersichtsprospektion vorerst nur mit Fe- und Mn-Analysen durchgeführt wird. Die eventuell später zu analysierenden Leitelemente hängen von den geologischen Erkenntnissen ab;

— bei vorhandenen Suszeptibilitätskontrasten der Einsatz von Geomagnetik gerechtfertigt ist.

Ganz allgemein soll erwähnt werden, daß sämtliche, durch Prospektionsmethoden gewonnene Erzindikationen selbstverständlich einer Verifizierung durch bergmännische Prospektionsarbeiten bedürfen.

9. Auswahl besonders prospektionswürdiger Gebiete

Im Zusammenhang mit der Frage nach Gebieten, in denen auf Eisenglimmer prospektiert werden soll, muß dem wirtschaftlichen Aspekt eine besondere Bedeutung eingeräumt werden. Allerdings ist es unmöglich — ohne den Rahmen dieser Arbeit sprengen zu wollen — auf die einzelnen Parameter detailliert einzugehen. Deshalb soll hier nur eine kurze Zusammenfassung jene Aspekte beschreiben, unter denen eine Prospektion auf Eisenglimmer betrieben werden sollte.

Geographische Lage

Die geographische Lage des zu untersuchenden Gebietes ist für die Beurteilung der Bauwürdigkeit von grundlegender Bedeutung. Ein Vorkommen in einer großen Höhe muß sowohl bessere Abbaubedingungen bieten als auch größere Erzvorräte aufweisen als ein Vorkommen in geringerer Seehöhe und in einem besser zugänglichen Gebiet.

Infrastrukturelle Einrichtungen

Die infrastrukturellen Einrichtungen variieren je nach der geographischen Lage des Vorkommens. Die Entfernung vom nächsten, mit SLKW's befahrbaren Transportweg, spielt eine ebenso große Rolle wie die Frage der Energieversorgung und der Arbeitsmarktsituation.

Bergmännische Aspekte

Bei den bergmännisch wichtigen Faktoren wird die Frage nach Form und dem Lagerstätteninhalt als Funktion der Mächtigkeit der erzführenden lithologischen Einheit im Vordergrund stehen. Weitere Fragen, die vom Geologen zu beantworten sind, beziehen sich auf die Gesteinsbeschaffenheit und Standfestigkeit des Gebirges, die Risiken eines Wassereinbruches u. a. m.

Aufbereitungstechnische Aspekte

Auch in aufbereitungstechnischer Hinsicht drängen sich Fragen auf, die frühzeitig durch geologische und mineralogische Untersuchungen beantwortet werden können. So etwa die Struktur der Hämatite, die sich aus dem besonderen Verwendungszweck des Eisenglimmers als Rostschutzpigment ergibt, die aber sehr wohl bei der Feinmahlung verloren gehen kann, der Verwachsungsgrad und Begleitminerale wie Pyrit, Chlorit und Limonit, die bei bestimmten Aufbereitungsprozessen nicht oder nur sehr kostspielig abgetrennt werden können.

Dieser sicher nicht vollständige Fragenkomplex soll hier nicht in Einzelheiten besprochen werden. Er muß allerdings bei der Auswahl prospektionswürdiger Gebiete berücksichtigt werden. Im Laufe der Prospektion sind immer wieder Rückkoppelungen mit dem Fragenkomplex vorzunehmen, um weitere geplante Arbeiten rechtfertigen zu können.

Im folgenden werden Gebiete beschrieben, die aufgrund der lithologischen Einheiten und der geographischen Lage nach Ansicht des Verfassers für künftige Prospektionsarbeiten in Erwägung gezogen werden sollten.

Wölzer Tauern

Im Bereich der Ortschaft Bretstein treten mächtige Marmore auf, die vorerst genau geologisch kartiert werden müßten. Im Fall von Erzindikationen wäre ein Prospektionsschema zu entwickeln, das in groben Zügen auf den im vorangegangenen Kapitel vorgeschlagenen Arbeitsvorgang aufbauen kann. Das gleiche gilt auch für jene Marmore, die von Oberzeiring entlang der Pölslinie zur Mur ziehen. Am Falkenberg, der in der Fortsetzung der Marmore von Oberzeiring liegt, treten geomagnetische Anomalien auf, die noch einer endgültigen Klärung bedürfen (K. METZ et al., 1978). Weitaus stärkere geomagnetische Anomalien erscheinen am Südabhang des Fohnsdorfer Berges. Beide Gebiete sollen somit näher untersucht werden.

Seetaler Alpen

Aufgrund der Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeiten vom Verfasser durchgeführten Untersuchungen ist die Wahrscheinlichkeit eines Auftretens von bauwürdigen Vererzungen als sehr gering einzustufen.

Saualpe

Prospektionswürdige Gebiete der Saualpe wären die Marmorkörper, soweit sie nicht Träger von Siderit-Vererzungen sind.

Koralpe

Nach Ansicht des Verfassers könnten auch die Marmorzüge W Salla Eisenglimmervererzungen beinhalten. Ein bedeutender Marmorzug streicht in nordöstlicher Richtung von Salla bis in den Raum Übelbach.

In allen genannten Gebieten müßte vor Beginn von geophysikalischen oder geochemischen Untersuchungen eine genaue geologische Kartierung durchgeführt werden, um die nötigen Informationen für Auswahl und erfolversprechende Planung der Prospektionsmethoden zu gewinnen.

Literaturnachweis

- ACKERMAND, D. und HÖRMANN, P. K. (1973): Die Röntgenographische, optische und chemische Untersuchung an Biotiten aus dem Südennde des Krimmler Achentales, Großvenedigerbereich (Westliche Hohe Tauern). — *Tschermaks Mineral. Petrog. Mitt.* 20, 155.
- JANDA, J., SCHROLL, E., SEDLAZEK, M. (1965): Zum Problem der geochemischen Unterscheidung von Para- und Orthoamphiboliten am Beispiel einiger Vorkommen des Waldviertels und der Ostalpen. — *Tschermaks Mineral. Petrog. Mitt.* 10, 552.
- METZ, K. (1976): Der geologische Bau der Wölzer Tauern. — *Mitt. nat.-wiss. Ver. Stmk.* (106), 51—75, Graz.
- METZ, K. und SCHMID, Ch. und WEBER, F. (1978): Magnetische Messungen im Fohnsdorfer-Knüttelfelder Tertiärbecken und seiner Umrahmung. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, 69, 1976, 49—75, Wien.
- METZ, K., SCHMID, Ch., SCHMÖLLER, R., STRÖBL, E., WALACH, G. und WEBER, F. (1980): Geophysikalische Untersuchungen im Gebiet Seetaler Alpen — Niedere Tauern—Eisenerzer Alpen. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, 71/72, 1978/1979, 213—259, Wien.
- PILGER, A. und SCHÖNENBERG, R. (1975): Geologie der Saualpe. — *Clausth. Geol. Abh.*, Sdbd. 1, Verlag Ellen Pilger, Clausthal-Zellerfeld.
- SACHS, L. (1968): Statistische Auswertungsmethoden. — Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York.
- VINE, J. D., TOURTELOT, E. B. (1970): Geochemistry of Black Shale Deposits — a Summary Report. — *Ecom. Geol.* 65, 253.
- WALTHER, H. W. (1968): On the Genesis of the Iron Ore of the Hormuz Series Near Bandar Abbas (Cambrian SE-Iran). — 23. *Int. Geol. Congr.*, Abstracts, p224, Prague, 1968.
- WEDEPOHL, K. H. (1978): Handbook of Geochemistry, Vol. II. — Vol. II/3, Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York.

ZITZMANN, A. (1977): The Iron Ore Deposits of Europe and Adjacent Areas. — Vol. 1, Bundesanstalt f. Geowiss. u. Rohstoffe, Hannover 1977; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Anschrift des Verfassers: Mag. rer. nat. Dr. mont. Ferdinand SCHÜSSLER, Institut für Prospektion, Lagerstättenerschließung und Mineralwirtschaft der Montanuniversität, A-8700 Leoben.