

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

GEOTECHNISCHE SERIE, LIEFERUNG 32

*Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der
Schweizerischen Geotechnischen Kommission
Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*

Der Biotit-Apatitschiefer des P. Corandoni

(Val Cadlimo, Tessin)

Geologisch-petrographischer Abschnitt

von H. Zweifel

Praktischer Abschnitt

von F. de Quervain

nach H. E. Althaus und H. Zweifel

Anhang: Übersicht der untersuchten
sedimentären Phosphatvorkommen der Schweiz

KOMMISSIONSVERLAG:

KÜMMERLY & FREY, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

1954

DRUCK VON ASCHMANN & SCHELLER AG., BUCHDRUCKEREI ZUR FROSCHAU, ZÜRICH

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

GEOTECHNISCHE SERIE, LIEFERUNG 32

*Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der
Schweizerischen Geotechnischen Kommission
Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*

Der Biotit-Apatitschiefer des P. Corrandoni

(Val Cadlimo, Tessin)

Geologisch-petrographischer Abschnitt

von H. Zweifel

Praktischer Abschnitt

von F. de Quervain

nach H. E. Althaus und H. Zweifel

Anhang: Übersicht der untersuchten
sedimentären Phosphatvorkommen der Schweiz

KOMMISSIONSVERLAG:

KÜMMERLY & FREY, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

1954

DRUCK VON ASCHMANN & SCHELLER AG., BUCHDRUCKEREI ZUR FROSCHAU, ZÜRICH

Vorwort

Mit der Frage der Vorkommen und Verwertbarkeit phosphatreicher Gesteine für Düngzwecke befaßte man sich in der Schweiz zum erstenmal eingehender gegen Ende des Ersten Weltkrieges, als die erschwerte Einfuhr ausländischer Phosphate einen Mangel an Phosphatdüngern befürchten ließ. Die schweizerische Agrikulturchemische Anstalt in Bern ließ in Verbindung mit dem damaligen Bureau für Bergbau durch Herrn Dr. E. TRUNINGER eine Reihe von Gesteinen der Kalkalpenzone mit an Phosphoriteinschlüsse gebundenem, erhöhtem Gehalt an P_2O_5 untersuchen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden durch E. TRUNINGER (1919) publiziert. Da diese Vorkommen wegen ihres relativ geringen Phosphatgehaltes oder geringer Mächtigkeit nach Wiederherstellung der normalen Handelsbeziehungen kein Interesse mehr boten, unterblieben weitere Arbeiten bis gegen Ende des Zweiten Weltkrieges, als wiederum dem Boden nur völlig ungenügende Mengen an ausländischen Phosphatdüngern zugeführt werden konnten. Das Bureau für Bergbau des Kriegs-Industrie- und -Arbeitsamtes (Chef: Ing. Dr. H. FEHLMANN) befaßte sich erneut mit den einheimischen Phosphatvorkommen, in Zusammenarbeit mit der Agrikulturchemischen Anstalt Liebefeld-Bern und einigen privaten Interessenten, vor allem der Lonza AG. Außer dem bereits früher untersuchten Rheintaler Vorkommen wandte man sich besonders der Erforschung noch weniger bekannter Lager zu und stellte neben der Geologie das Hauptaugenmerk auf die Prüfung der Abbaubedingungen und der Möglichkeiten des chemischen Aufschlusses der Rohphosphate. Über diese Arbeiten liegen zahlreiche Berichte vor, worüber die Verzeichnisse S. 40 und 45 orientieren. Von allen untersuchten Vorkommen boten nicht mehr die sedimentären Lagerstätten, sondern der Apatitglimmerschiefer am P. Corandoni im Val Cadlimo (Tessin) das größte Interesse. Zu einer eigentlichen Verwertung einheimischer Phosphatgesteine kam es aber in der Folge nicht, da sich nach wiederhergestellter Einfuhr eine Weiterverfolgung der Arbeiten als nicht lohnend erwies. Die Ergebnisse der Arbeiten wurden von H. E. ALTHAUS in einem Schlußbericht zusammengefaßt, der fast wörtlich im Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz (1947) publiziert wurde.

Der Geotechnischen Kommission, welcher die Akten des Bureaus für Bergbau nach seiner Liquidierung übergeben worden waren, blieb es erwünscht, das Vorkommen im Val Cadlimo näher, besonders nach der petrographischen Seite zu bearbeiten. Auf ihre Anregung wurde noch von Herrn Prof. Niggli diese Aufgabe Herrn HANS ZWEIFEL als Diplomarbeit an der Abteilung für Naturwissenschaften an der Eidg. Technischen Hochschule gestellt, der 1952/53 die notwendigen Feld- und Laborarbeiten durchführte und zu einem Manuskript: «Untersuchungen über den Biotit-Apatitschiefer des Val Cadlimo und seiner Nebengesteine» verarbeitete. Er stellte dieses Manuskript der Kommission für geeignete Publikation zur Verfügung. Die Abschnitte

I. Geologie und Petrographie des Lagerstättengebietes

II. Petrographie des Biotit-Apatitschiefers

sind, mit einigen Umstellungen, Ergänzungen und Kürzungen, von der Arbeit von Herrn Zweifel übernommen worden. Im Abschnitt

III. Der Biotit-Apatitschiefer als nutzbare Phosphatlagerstätte

sind die Ergebnisse der Untersuchung des Bureaus für Bergbau nach dem Bericht von H. E. ALTHAUS zusammen mit den Resultaten von Herrn Zweifel durch den Unterzeichneten zu einer einheitlichen Darstellung verarbeitet worden.

In einem Anhang sind die Hauptresultate der Arbeiten über die übrigen schweizerischen Phosphatvorkommen in Tabellenform kurz zusammengefaßt. Obwohl den Vorkommen keine praktische Bedeutung zukommt und größtenteils wohl kaum je zukommen wird, schien eine kurze Übersicht im Publikationsorgan der Schweizerischen Geotechnischen Kommission zweckmäßig, da die bisherigen Veröffentlichungen im Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz in geologischen Kreisen wenig bekannt geworden sind. Ein Weiterverfolgen der Untersuchungen an diesen Vorkommen seitens der Kommission hätte sich, obwohl zweifellos noch viele neue Erkenntnisse zu erwarten wären, aus den oben genannten Gründen nicht gelohnt.

Die Publikation der Untersuchungsergebnisse von Herrn H. ZWEIFEL wurde in der Sitzung vom 21. November 1953 beschlossen. Die Kommission dankt dem Autor vielmals für seine Arbeit und für die Zurverfügungstellung seines Manuskriptes.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Autoren allein verantwortlich.

ZÜRICH, im August 1954.

Für die Schweizerische Geotechnische Kommission

Der Präsident: Prof. Dr. F. de Quervain.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Übersicht	5
I. Geologie und Petrographie des Lagerstättengebietes	7
A. Feldbeobachtungen	7
B. Physiographie der Gesteine	7
1. Tremolaserie	9
2. Der Streifengneis	15
3. Lamprophyr im Streifengneis	16
Anhang: Bleiglanzvorkommen im Streifengneis	17
II. Petrographie des Biotit-Apatitschiefers	18
A. Feldbeobachtungen	18
B. Physiographie der Gesteine innerhalb der Biotit-Apatitschiefer-Zone	21
1. Reiner Biotit-Apatitschiefer	21
2. Biotit-Apatitschiefer wechselnd mit Lagen von Streifengneis	23
3. Biotit-Apatitschiefer vermengt mit Bestandteilen des Streifengneises	24
4. Gneise in der Biotit-Apatitschieferzone	25
5. Quantitativer Mineralgehalt von Biotit-Apatitschieferproben	25
C. Chemismus des Biotit-Apatitschiefers	27
1. Gesamtanalysen	27
2. Bestimmungen von P_2O_5	28
3. Spektrographische Untersuchung	28
D. Röntgenographische Bestimmung des Apatites	28
E. Chemischer Vergleich mit anderen Gesteinen	29
1. Mit Lamprophyren aus dem Gotthardmassiv	29
2. Mit Gesteinen anderer Gebiete	29
F. Versuch zur Deutung der Genese	31
III. Der Biotit-Apatitschiefer als nutzbare Phosphatlagerstätte	33
A. Die Vorräte	33
B. Abbauverhältnisse	35
C. Aufbereitung und Verarbeitung	36
D. Verwertung der Flotationsabgänge	38
E. Vergleich mit nutzbaren Apatitlagerstätten	38
Literaturverzeichnis	39
Anhang: Übersicht der untersuchten sedimentären Phosphatvorkommen der Schweiz	40

Übersicht

Das untersuchte Biotit-Apatitschieferorkommen befindet sich in Gneisen des zentralen Gotthardmassivs, unweit des Südrandes gegen die mesozoische Mulde von Val Piora (P. NIGGLI 1934, J. CADISCH 1953). Es liegt innerhalb des Arbeitsgebietes von LEO J. KRIGE, der als erster 1913 bis 1916 dessen geologisch-petrographische Detailkartierung durchführte. Krige wies ebenfalls zuerst auf das Vorkommen des Biotit-Apatitschiefers hin. Er bezeichnete das Gestein als Lamprophyr, erwähnte aber, daß es noch einer chemischen Analyse bedürfe um seine Genese richtig zu deuten. Die Kartierung von L. J. KRIGE wurde von der 1934 durch die Schweizerische Geologische Kommission herausgegebenen «Geologischen Karte der Tessiner Alpen zwischen Maggia- und Bleniothal» 1:50 000 (Spezialkarte Nr. 116) übernommen. Im Jahre 1933 veröffentlichten J. JAKOB und C. M. KOOMANS eine chemische Analyse des Schiefers, wobei sie auch auf seine mögliche Brauchbarkeit zu Düngzwecken hinwiesen. Weiter

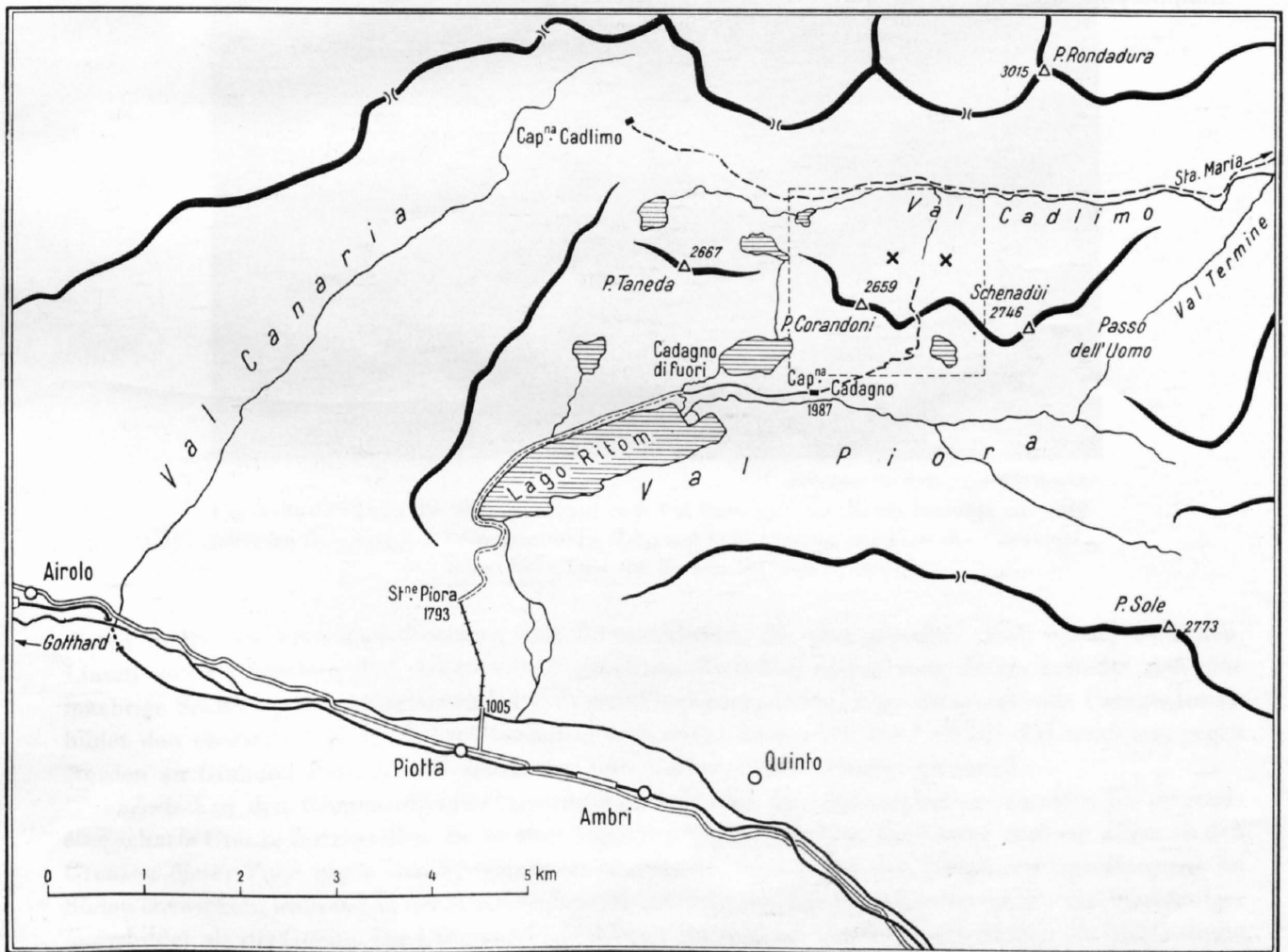


Fig. 1. Geographische Übersicht mit Begrenzung der geologisch-petrographischen Detailaufnahme (Tafel II).
Kreuze: Apatit-Biotitschieferorkommen.

befafte sich kurz E. AMBÜHL (1943) und dann eingehend H. E. ALTHAUS (1946) mit dem Vorkommen. Ihre Untersuchungen im Auftrag des Bureaus für Bergbau erstreckten sich aber in erster Linie auf praktische Fragen (siehe Vorwort). Eine eigentliche petrographische Bearbeitung des interessierenden Gebietes fand nach Krige nicht mehr statt. Unter U. GRUBENMANN und besonders dann unter P. NIGGLI wurde jedoch seither intensiv in benachbarten Gebieten geologisch-petrographisch gearbeitet so durch R. SONDER (1921), E. AMBÜHL (1929), R. U. WINTERHALTER (1930), H. M. HUBER (1943), E. NIGGLI (1944) u. a. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren natürlich für die vorliegenden neuen Aufnahmen begleitend.

Das Untersuchungsgebiet (Gemeinde Quinto, Tessin) befindet sich auf dem Topographischen Atlas Blatt 503 (Faido) und auf Blatt 266 (Val Leventina) bzw. Normalblatt 532 (Val Leventina-W) der Landeskarte. Die Namengebung der Landeskarte weicht vielfach von derjenigen des Top. Atlases ab. Im folgenden werden, wo nicht besonders vermerkt, die Namen, bzw. Schreibweisen der Landeskarte angewandt. Die geologisch-petrographische Detailkartierung durch Herrn ZWEIFEL erfolgte auf einer von der Eidg. Landestopographie zur Verfügung gestellten vergrößerten Kartengrundlage.

Im Jahre 1944 wurde erstmals eine Konzession zur Ausbeutung des Biotit-Apatitschiefers im Val Cadlimo verliehen. Frühere Konzessionen in der Region bezogen sich auf die Bleiglanzvorkommen (S. 17) und auf die Quarzgänge (S. 9). Den Abbau und die Aufbereitung des Schiefers hätte eine zu gründende Gesellschaft «Società Mineraria Val Cadlimo» übernehmen sollen. Diese nahm einen kursorischen Plan mit geologischen Eintragungen des Vorkommens auf und beteiligte sich an den Aufbereitungsversuchen der Jahre 1945/46 (ALTHAUS 1946). Nach Wiederherstellung der Einfuhr von Rohphosphat wurden die Arbeiten nicht mehr weiter verfolgt.

I. Geologie und Petrographie des Lagerstättengebietes

A. Feldbeobachtungen (Tafeln II und III)

Die steilen Südhänge, die vom Corandoni und seinen Fortsetzungen ins Val Piora hinunterfallen (Fig. 2), werden durch die dunkeln Gesteine der Tremolaserie gebildet. Es treten hier zwei parallele Züge hornblendeführender Gesteine, vor allem Amphibolite und Hornblendegarbenschiefer auf. In



Aufnahme der Eidg. Landestopographie.

Fig. 2. Südhänge des P. Corandoni vom Val Piora aus. Die Hänge bestehen aus nordfallenden Gesteinen der Tremolaserie. Im Talgrund links Gesteine der Trias der Pioramulde. Auf halber Höhe links das Becken des Lago di dentro.

diesen finden wir auch Zwischenlagen von Biotitschiefern, die aber ziemlich rasch wieder auskeilen, Linsen von Paragneisen und Adern von Pegmatiten. Zwischen diesen zwei Zonen befindet sich eine mächtige Schicht von dunkelglänzenden Glimmer-Plagioklasgneisen. Eine entsprechende Paragneiszone bildet den obersten Teil der Corandoni-Kette und reicht auch noch ins Cadlimo-Tal hinunter, gegen Norden an Glimmer-Plagioklas-Granatgneise und Granatglimmerschiefer grenzend.

Zwischen den Glimmer-Plagioklas-Granatgneisen und den Granatglimmerschiefern ist nirgends eine scharfe Grenze festzustellen. Es ist aber folgendes wahrzunehmen: Die Gneise sind vor allem an den Grenzen dieser Zone gegen den Streifengneis im Norden, und gegen den Glimmer-Plagioklasgneis im Süden entwickelt, während in der Mitte die Schiefer überwiegen. Die Schiefer sind immer viel feinkörniger ausgebildet als die Gneise. Die Glimmer-Plagioklasgneise sind an verschiedenen Stellen als Ophthalmiten entwickelt. Es sind dabei alle Übergänge von sehr kleinen bis iergroßen Feldspatäugen zu beobachten. Es ist dies wahrscheinlich der Alkalizufuhr vom engadinitischen Streifengneismagma zuzuschreiben.

Ganggesteine habe ich in der Tremolaserie nicht viele angetroffen, einige Pegmatite und Aplite, linsenförmig in Amphibolit und Glimmer-Plagioklasgneis eingelagert und einen Lamprophyr nördlich des Corandoni.



Aufnahme der Eidg. Landestopographie.

Fig. 3. Nordabhang der Kette Schenadù — P. 2636 — P. Corandoni. In der Bildmitte die Lagozze della Miniera, von denen sich die beiden Hauptzonen des Biotit-Apatitschiefers gegen Osten und Westen erstrecken, wegen Einfallens der Schieferung gegen vorn (Val Cadlimo) schwer erkennbar. Im Hintergrund (südlich des Val Piora) die Gipfel P. Sole und Pecianet.



Fig. 4. Morphologie des Lagerstättengebietes. Nordfallende Gneisköpfe mit Schuttmassen in den Senken.

Die Tremolaserie zieht westlich des Corandoni bis ins Val Cadlimo hinunter, östlich davon hingegen gegen den Grat der zum Schenadù führt. Im mittleren bis östlichen Teil meines Gebietes wird also der größte Teil des Abhanges gegen das Cadlimo-Tal von einem Alkalifeldspatgneis, dem bekannten Streifengneis eingenommen.

Der Streifengneis liegt als frisches, mittelkörniges Gestein vor, mit gebänderter Textur. An gewissen Orten kann er auch mehr feinkörnig und plattig-schiefrig vorkommen. Er enthält dann mehr Quarz und Muskowit als im allgemeinen.

Der ganze Abhang gegen das Cadlimo-Tal (Fig. 3) wird beherrscht durch hervorragende Stirnpartien der plattig abgesonderten Gneise. Dazwischen liegt abgewitterter, in den Senken auch angeschwemmter Schutt dieser Gneise (Fig. 4).

Wir können am Corandoni besonders zwei wichtige Hauptkluftsysteme beobachten. Das eine streicht N 170° E, also ungefähr Nord—Süd, und fällt senkrecht bis 80° nach Osten oder Westen. Das andere hat ein Streichen von N 100° E, also fast Ost—West. Es ist dies auch das Streichen der Gneise, während aber diese nach Norden fallen, fallen die Klüfte mit wechselnder Steilheit nach Süden ein.

In den Klüften ist Quarz emporgedrungen. Während aber die N—S-Klüfte meist nur bescheidene Quarzgänge beherbergen, finden wir längs den E—W-Klüften solche von bis zu 30 m Länge und einer Mächtigkeit von 2 m. Sie scheinen ziemlich rein zu sein und ragen weiß wie Schneemauern in die Gegend hinaus. Irgendwelche andere Mineralien scheinen sie nicht zu enthalten.

Das Fallen der Gneise ändert sich vom Südhang des Corandoni bis ins Val Cadlimo von 30° bis 50° gegen Norden. Es entspricht das den allgemeinen Beobachtungen im östlichen Gotthardmassiv. Die extremen Werte sind 20° unterhalb des Lago di dentro und 58° im Talgrunde des Val Cadlimo. Das Streichen beträgt im westlichen Teil meines Gebietes 95°, im östlichsten aber 110°. (Immer von Norden nach Osten.) Es ist also ein Umbiegen von W—E- in NW—SE-Richtung festzustellen. Dieses Umbiegen nimmt nach Osten noch etwas mehr zu, es ergibt sich also eine Abweichung vom alpinen Streichen der Piora-Mulde, und die Tremolaserie verschwindet diskordant unter den mesozoischen Sedimenten derselben.

Die drei Profile der Tafel III geben einen Überblick der geologischen Verhältnisse.

B. Physiographie der Gesteine

1. Tremolaserie

Wie verbreitet in der Tremolaserie (vergleiche L. HEZNER, 1909) sind auch hier folgende Gesteine anzutreffen:

- a) Gneise,
- b) Glimmerschiefer,
- c) Hornblendegarbenschiefer,
- d) Amphibolite,
- e) Quarzite,
- f) Silikatführende Karbonatgesteine,
- g) Ganggesteine (Aplite, Pegmatite, Lamprophyre).

a) Gneise

Grob betrachtet, können wir zwei Haupttypen unterscheiden:

Glimmer-Plagioklasgneise, meistens beide Glimmer enthaltend, manchmal jedoch in Biotit- und Muskowit-Gneise übergehend.

Granat-Glimmer-Plagioklasgneise.

Glimmer-Plagioklasgneise

Sie bilden in meinem Gebiet die mächtigsten Zonen der Tremolagesteine. Sie sind vom Corandoni gegen das Cadlimo-Tal hin anzutreffen, am Südhang des Corandoni, und als Linsen in den Amphiboliten.

Makroskopisch ist die Textur als lentikular bis schiefrig zu bezeichnen. Sie sind meist feinkörnig und durch ihren Glimmergehalt glänzend. Teilweise bildet der Feldspat große Augen.

Im Dünnschliff zeigt sich folgendes:

Struktur: Die Struktur ist granoblastisch bis lepidoblastisch. Die feinkörnige Entwicklung wird nur bei den Ophthalmiten durch große Feldspäte unterbrochen. Die Augen sind kataklastisch entwickelt.

Textur: Das Grundgewebe ist kristallisationsschiefrig. An Glimmer und Quarz kann die Schieferung deutlich erkannt werden.

Mineralien:

Hauptgemengteile (HGT) Quarz, Plagioklas, Orthoklas, Biotit, Muskowit.

Nebengemengteile (NGT) Apatit, Magnetit, Zirkon.

Übergemengteile (ÜGT) Granat, Pyrit; sek. Chlorit, Epidot, Serizit, Kalzit.

Quarz:

Längliche Körner in Linsen und Streifen angeordnet. Oft sind sie auch mehr isometrisch entwickelt und greifen dann ineinander und in die Feldspäte hinein.

Plagioklas:

Es handelt sich um Albit bis Oligoklas. Die Plagioklase sind meist mehr oder weniger xenomorph und eng mit dem Quarz verzahnt. Zwillingslamellierung kommt vor, ist aber nicht immer anzutreffen. Auch Schachbrettalbitbildung ist zu beobachten. Die Zwillingslamellierung ist in den großen Porphyroklasten und bei starker Zersetzung verwischt. Einschlüsse von Serizit sind nicht selten, ab und zu gilt dasselbe für Zoisit.

Orthoklas:

In den Schliffen meines eigenen Gebietes konnte ich Orthoklas nur selten antreffen, in solchen von Krige und Huber teilweise etwas häufiger. Er ist xenomorph und oft als Mikroklin ausgebildet. Am Rande können wir Myrmekitbildungen finden. Manchmal durch Quarz oder Plagioklas verdrängt.

Biotit:

Biotit ist in länglichen Schuppen und Blättern ausgebildet. Die Begrenzung ist unregelmäßig. Meist in Streifen angeordnet, abwechselnd mit Feldspat und Quarz. Umwandlung in Chlorit und Epidot ist nur unbedeutend. Der Pleochroismus wechselt von dunkelbraun zu blaßgelb (braun parallel der Basis).

Muskowit:

Er ist feinblättrig entwickelt, z. T. auch als Serizit (kleine Schüppchen). Meist mit dem Biotit zusammen zwischen Quarz und Feldspat. Er ist besser idiomorph als dieser.

NGT:

Apatit, Magnetit und Zirkon sind an die Biotitstreifen gebunden. Apatit und Zirkon oft im Biotit eingeschlossen.

ÜGT:

Kalzit findet sich als sekundäres Produkt von Plagioklas. Er findet sich zwischen den Gemengteilen und auch innerhalb des Feldspates. Epidot und Zoisit sind aus Biotit und Plagioklas entstanden, Chlorit ist Umwandlungsprodukt von Biotit.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Quarz 30—60%, Plagioklas 10—50%, Orthoklas 0—5%, Biotit 4—10%, Muskowit 6—10%.

Bei überwiegendem Biotitgehalt ist meist der Plagioklas etwas anorthitreicher, bei größerem Muskowitgehalt herrscht Albit und Orthoklas vor.

Granat-Glimmer-Plagioklasgneise

Diese Gesteine sind in meinem Gebiet nur zwischen den Glimmer-Plagioklasgneisen und den Streifengneisen anzutreffen, wie schon erwähnt besonders an der Grenze gegen die beiden andern Gneise

hin, während in der Mitte Granatglimmerschiefer vorwiegen. Am grobkörnigsten sind sie gegen den Streifengneis hin ausgebildet.

Makroskopisch sind sie weniger schiefrig als die andern Gesteine, oft können sie fast massig wirken. Auffallend sind die großen Querbiotite.

Im Dünnschliff zeigt sich folgendes:

Struktur: Das Grundgewebe ist grano- bis lepidoblastisch. Die Struktur als Ganzes muß als porphyroblastisch bezeichnet werden, denn wir finden große Porphyroblasten von Granat und Biotit.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand:

HGT Quarz, Plagioklas, Biotit, Muskowit, Granat.

NGT Apatit, Magnetit, Zirkon.

ÜGT Karbonat, Hornblende, Epidot.

Quarz:

In länglichen Kristallen ausgebildet, teilweise lappig ineinander greifend. Größere Kristalle sind quer zur Schieferung zerbrochen.

Plagioklas:

Es handelt sich auch hier um Albit bis Oligoklas. Albitlamellierung ist nicht bei allen Kristallen anzutreffen. Er bildet nicht so ausgeprägte Streifen und Linsen wie der Quarz. Oft stark mit Serizit angefüllt.

Biotit:

Pleochroismus von dunkelbraun bis strohgelb. Ein Teil der Biotite liegt in der Schieferungsebene, ein Teil quer dazu, ungefähr in 45°. Meist sind es große Porphyroblasten, besonders die Querbiotite.

Muskowit:

Er kommt mit den in der Schieferungsebene liegenden Biotiten zusammen vor. Er bildet nie so ausgeprägte Porphyroblasten wie der Biotit und ist auch nie in Querstellung.

Granat:

Er ist farblos bis blaßrosa. Die großen Porphyroblasten sind manchmal nur noch als Skelette erhalten. Wir finden Einschlüsse von Quarz, Biotit und Erz.

NGT:

Sie kommen auch hier wieder mit den Biotiten zusammen vor.

ÜGT:

Karbonat und Epidot als Umwandlungsprodukte von Plagioklas. Es handelt sich um Kalzit (Zwillingslamellierung). Hornblende konnte ich nur in einem einzigen Schliff feststellen. Es handelt sich um dünne längliche Kristalle. Der Pleochroismus wechselt von saftiggrün bis gelblichgrün, die Auslöschungsschiefe ist 20°, es ist also gewöhnliche grüne Hornblende.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Quarz 30—60 %, Plagioklas 10—30 %, Biotit 5—20 %, Muskowit 5—15 %, Granat 5—15 %.

Der Plagioklasgehalt kann so weit abnehmen, daß wir Übergänge zu den Granatglimmerschiefern haben.

b) Die Glimmerschiefer

Granatzweiglimmerschiefer

Die Granatzweiglimmerschiefer bilden mit den Glimmer-Granat-Plagioklasgneisen zusammen die Grenzzone der Tremolaserie gegen den Streifengneis.

Mit dem Glimmer-Granat-Plagioklasgneis sind sie durch Übergänge verbunden.

Makroskopisch sind sie schiefrig, teilweise fast massig entwickelt. Wie die Gneise zeigen auch sie Querbiotite.

Im Dünnschliff zeigt sich folgendes:

Struktur: Die Struktur ist porphyroblastisch, mit Porphyroblasten von Biotit und Granat.

Das Grundgewebe ist granoblastisch bis lepidoblastisch. Vorwiegend feinkörnig.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand:

HGT Quarz, Biotit, Muskowit, Granat.

NGT Apatit, Magnetit, Zirkon.

ÜGT Plagioklas, Epidot, Chlorit.

Quarz:

Quarz zeigt sich in linsenförmigen oder lappigen Körnern. Vielfach von Serizit umgeben.

Biotit:

Der Pleochroismus ist wieder braun bis blaßgelb. Einschlüsse von Quarz, Apatit und Zirkon, aber nicht sehr häufig. Die meisten Biotite sind gut in der Schieferungsebene eingeregelt, abgesehen natürlich von den Querbiotiten.

Muskowit:

Entweder kommt er in länglichen Schuppen mit dem Biotit zusammen vor, oder dann als Serizit zwischen und in andern Gemengteilen.

Granat:

Er ist nicht so groß ausgebildet wie bei den Gneisen, auch sind Skelette und siebartige Formen seltener.

ÜGT:

Der Albit zeigt kleine, ziemlich gut entwickelte Kristalle mit Zwillingslamellierung. Chlorit und Epidot sind hauptsächlich als Umwandlungsprodukte von Biotit entstanden.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Quarz 30—60 %, Biotit 10—20 %, Muskowit 10—30 %, Granat 5—20 %.

Biotitschiefer

Linsen von Biotitschiefern konnte ich am Südhang des Corandoni finden, zwischen Amphiboliten und Glimmer-Plagioklasgneisen.

Im Dünnschliff zeigt sich folgendes:

Struktur: Die Struktur ist eindeutig lepidoblastisch, durch den großen Glimmergehalt besonders deutlich demonstriert.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralien:

HGT Quarz, Biotit, Muskowit.

NGT Apatit, Titanit, Zirkon.

ÜGT Karbonat.

Quarz:

In länglichen, linsenförmigen Körnern. Meist in Streifen angeordnet, abwechselnd mit Biotit, aber auch in einzelnen Körnern zwischen diesem.

Biotit:

Langgestreckte Blättchen. Pleochroismus von tiefbraun bis gelb. Das Biotitgewebe durchzieht das ganze Gestein, die andern Gemengteile umgebend und einhüllend. Er weist Einschlüsse von Apatit und Titanit auf.

Muskowit:

In kleinen Blättchen zwischen dem Biotit.

NGT:

Titanit, Apatit und Zirkon als Einschlüsse in Biotit oder zwischen den Biotiten.

ÜGT:

Karbonat findet sich in länglichen Linsen zusammen mit dem Quarz zwischen den Biotiten. Es liegt nicht als Umwandlungsprodukt anderer Gemengteile vor. Zwillingslamellierung ist selten festzustellen.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Quarz 20—30 %, Biotit 60—80 %, Muskowit 4—8 %.

c) Hornblendegarbenschiefer

Wir finden sie mit Amphiboliten und Paragneisen zusammen in den beiden hornblendeführenden Zonen am Südhang des Corandoni. Makroskopisch kommen die garbenförmig angeordneten Hornblendeporphyroblasten sehr schön zum Ausdruck.

Im Dünnschliff zeigt sich folgendes:

Struktur: Die Struktur ist porphyroblastisch mit großen Hornblendekristallen, ab und zu auch solchen von Granat. Das Grundgewebe ist granoblastisch.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand:

HGT Quarz, Plagioklas, Hornblende, Biotit, Muskowit.

NGT Granat, Magnetit, Apatit, Zirkon.

ÜGT Chlorit, Epidot, Karbonat, Turmalin, Staurolith, Disthen.

Quarz:

Meist isometrische Körner, oft aber auch gestreckt. Er bildet die Hauptmasse des Grundgewebes.

Plagioklas:

Er kann als Andesin bestimmt werden. Zwillingslamellierung ist nur selten anzutreffen. Manchmal ist der Plagioklas etwas serizitisiert. Oft ist er als Füllmasse anzutreffen.

Hornblende:

Pleochroismus: blaugrün-grasgrün-blaßgelb.

Die Auslöschungsschiefe beträgt 17° . Der optische Charakter ist negativ. Es handelt sich also um gewöhnliche Hornblende. Die Porphyroblasten bilden lange Stengel, die Garbenbildung kommt auch im Dünnschliff zum Ausdruck. Die Hornblende ist stark durchlöchert und führt Einschlüsse von Grundgewebe. Umwandlung in Biotit ist anzutreffen.

Biotit:

Pleochroismus braun bis strohgelb. Einschlüsse sind nicht häufig.

Muskowit:

In größeren Kristallen kommt er mit dem Biotit zusammen vor, als kleine Serizitschüppchen liegt er zwischen und in andern Gemengteilen. Die letztere Art des Vorkommens überwiegt. Mit Quarz und teilweise auch mit Chlorit zusammen bildet er das Grundgewebe.

NGT:

Der Granat ist wieder farblos bis rosa. In einem Teil der Schiefer kann er ziemlich häufig auftreten.

ÜGT:

Der Chlorit tritt als Gemengteil im Grundgewebe auf, wo er eine gewisse Bedeutung erlangen kann, ferner als Umwandlungsprodukt von Biotit, selten von Hornblende. Den Epidot trifft man in länglichen Säulen und als Körner. Teilweise in der Hornblende, oft aber im Grundgewebe. Meist unregelmäßig angeordnet.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Quarz 30—60%, Plagioklas 10—25%, Hornblende 20—40%, Biotit 5—20%, Muskowit 5—20%, Chlorit 0—10%.

d) Amphibolite

Makroskopisch zeigt sich ein dunkelgrünes, mittel- bis feinkörniges, meist massiges Gestein. Im Dünnschliff ist folgendes festzustellen:

Struktur: Teilweise nematoblastisch, teilweise porphyroblastisch mit größeren Hornblendekristallen.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand:

HGT Hornblende, Quarz, Plagioklas, Biotit.

NGT Epidot, Granat, Apatit, Titanit, Magnetit.

ÜGT Chlorit, Karbonat.

Hornblende:

Es ist die gleiche gewöhnliche Hornblende wie bei den Garbenschiefern. Sie sind aber anders angeordnet, sie schneiden sich unter spitzen Winkeln. Die größeren Kristalle zeigen Siebstruktur.

Plagioklas:

Es handelt sich um Andesin. In den grobkörnigen Gesteinen ist Albitlamellierung festzustellen.

Quarz:

Der Quarz bildet isometrische Kristalle im Grundgewebe.

Biotit:

Er bildet meist nur wenige ziemlich kleine Kristalle.

NGT:

Epidot findet man als Körner und Stengel im Grundgewebe und in den Hornblenden. An gewissen Orten ist der Gehalt so groß, daß man von Epidotamphibolit sprechen könnte. Auch der Granat kann ab und zu eine größere Anreicherung erfahren.

Über die übrigen NGT und ÜGT sind keine speziellen Bemerkungen zu machen.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Hornblende 40—60%, Plagioklas 5—20%, Quarz 5—20%, Biotit 0—5%, Epidot 2—10%.

Durch starkes Überhandnehmen des Hornblendegehaltes sind Übergänge in Hornblendefels festzustellen, durch Zunahme des Plagioklasgehaltes solche in Hornblende-Plagioklasgneis.

Quarzite und Karbonatgesteine sind in meinem Gebiet äußerst selten. Sie bilden Einlagerungen in den andern Gesteinen, hauptsächlich in den Gneisen und Amphiboliten. Neben Quarz bzw. Karbonat führen sie die Gemengteile ihrer Nebengesteine und es existieren Übergänge zu diesen.

Die Pegmatite, die ich an zwei Orten als kleine Linsen in den Gneisen des Corandoni-Südhangs angetroffen habe, zeigten makroskopisch einen Gehalt an Plagioklas und Muskowit.

Bei den Apliten war makroskopisch Plagioklas, Quarz, Muskowit und etwas Biotit festzustellen.

Lamprophyr habe ich nur einen gefunden, in den Glimmer-Plagioklasgneisen am Corandoni. Er scheint hauptsächlich aus Plagioklas und Biotit zu bestehen. Er läuft quer zu den Gneisen.

Da diese Gesteine nur von untergeordneter Bedeutung sind, habe ich auf ihre mikroskopische Untersuchung verzichtet.

2. Der Streifengneis

Makroskopisch zeigt er sich als ein mittelkörniges, gebändertes Gestein, das hell von den meist dunkeln Paragneisen absticht. Gegen den Paragneis in der Gegend des Punktes 2636 hin ist er eher feinkörnig und schiefriger ausgebildet.

Mikroskopische Beobachtungen:

Struktur: Die Struktur ist vorwiegend granoblastisch, in den quarzreichen Partien oft kataklastisch. Die Feldspäte sind manchmal porphyroklastisch entwickelt.

Textur: Die Textur ist mechanisch-schiefrig bis kristallisationsschiefrig. Wenn fast nur Feldspäte und Quarz vorhanden sind, ist sie eher massig.

Mineralbestand:

HGT Quarz, Orthoklas, Plagioklas, Muskowit, Biotit.

NGT Apatit, Magnetit, Zirkon.

ÜGT Granat, Kalzit, Epidot, Chlorit.

Quarz:

Quarz zeigt sich meist in länglichen Körnern, in Lagen abwechselnd mit dem Orthoklas. Oft ist er von diesem durch Glimmerlagen getrennt. Größere Körner können undulöse Auslöschungen zeigen. Bei flachlinsiger Anordnung ist er ziemlich streng in der Schieferungsebene eingeregelt. Wenn mehr massig entwickelt, greifen die Körner lappig ineinander. Querrisse sind wahrzunehmen. Er ist vollkommen einschlußfrei und wasserklar.

Orthoklas:

Man findet längliche und isometrische Körner. Er zeigt immer eine trübe, braune Pigmentierung, an der er gut vom Quarz zu unterscheiden ist. Einschlüsse von Serizit sind ziemlich häufig, solche von Quarz eher selten. An großen Kristallen kann Mikroklitterung und perthitische Entmischung beobachtet werden. Oft ist er von Quarz angefressen.

Plagioklas:

Der Plagioklas ist meist als Albit vorhanden, seltener als Oligoklas. Es ist zu beobachten, daß bei gut entwickelter Zwillingslamellierung keine Einschlüsse vorhanden sind, diese Kristalle sind auch meist idiomorph. Bei den andern findet man Serizit und Epidot eingeschlossen. Er bildet keine einheitlichen Linsen und ist meist randlich den Orthoklaslinsen eingegliedert. In den Schliffen meines engeren Gebietes konnte ich nirgends einen An-Gehalt feststellen, der 15% übersteigt, 0—10% wiegt vor. In Schliffen von L. J. Krige und H. M. Huber außerhalb meines Gebietes kommen Albitgehalte größer als 20% vor.

Muskowit:

Die Muskowite sind in der Schieferungsebene gut eingeordnet. Man trifft sie in schmalen Streifen zwischen Feldspat und Quarz mit dem Biotit zusammen. Als Serizit in Plagioklasen und Orthoklas ist er regellos.

Biotit:

Er kommt in schmalen Bändern vor, manchmal auch in Nestern. Er ist dem Muskowit untergeordnet und auch nicht so gut idiomorph wie dieser. In den Bändern ist er gut eingeordnet, in den Nestern wirt. Der Pleochroismus wechselt von dunkelbraun nach strohgelb. In den biotitreichen Stellen finden wir die meisten Nebengemengteile.

NGT:

Apatit, Magnetit und Zirkon sind nicht häufig und finden sich immer in den glimmerreichen Stellen. Titanit konnte ich in meinen eigenen Schliffrn keinen feststellen, wohl aber in solchen von H. M. Huber außerhalb meines Gebietes.

ÜGT:

Epidot finden wir in kleinen Körnern als Umwandlungsprodukt von Plagioklas und Biotit. Chlorit tritt als Umwandlungsprodukt von Biotit auf, aber sehr selten. Granat konnte ich ein einziges Stück finden. Kalzit mit Zwillingslamellierung ist immer in der Nähe von Plagioklas, als Umwandlungsprodukt.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Quarz 30—50%, Orthoklas 20—40%, Plagioklas 0—15%, Muskowit 5—10%, Biotit 3—8%.

3. Lamprophyr im Streifengneis

Nördlich des Corandoni, etwa auf 2560 m ü. M., durchschlägt ein Lamprophyr den Streifengneis quer zur Schieferung. Er ist 2 m mächtig und nur wenige Meter lang. Am obern Rand ist der Gneis etwas schief gestellt worden. Der Kontakt ist scharf, ohne Übergänge. Nach allen diesen Erscheinungen zu urteilen, muß es sich um ein Ganggestein handeln, das erst im Gefolge der spätherzynischen Granit-intrusionen eingedrungen ist. Das ganze Bild ist ein vollkommen anderes als es der konkordant eingelagerte, auch als Lamprophyr bezeichnete Biotit-Apatitschiefer bietet, der nur etwa 50 m davon entfernt ist.

Makroskopisch ist es ein dunkles, ziemlich schiefriges Gestein (nicht so stark geschiefert wie der Biotit-Apatitschiefer).

Mikroskopische Beschreibung (Fig. 12):

Struktur: Lepidoblastisch.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand:

HGT Plagioklas, Biotit, Quarz.

NGT Apatit, Magnetit, Titanit.

ÜGT Zoisit, Epidot, Chlorit, Serizit, Karbonat.

Plagioklas:

Es handelt sich um Albit bis Oligoklas. Zwillingslamellen sind keine vorhanden, weshalb ich ihn nur nach der Lichtbrechung bestimmen konnte. Man findet Einschlüsse von Quarztropfen und Biotit, auch winzige Serizitblättchen.

Biotit:

Pleochroismus braun bis blaßgelb. Meist langgestreckte Blätter, Plagioklas und Quarz umschlingend. Umwandlung in Zoisit, in Chlorit selten.

Quarz:

Oft etwas kataklastisch. Er bildet nie so große Kristalle wie der Plagioklas. In gewissen Zonen stark angehäuft.

NGT:

Apatit, Magnetit und Titanit bilden spärlich vertretene kleine Körner in den Biotitzonen.

ÜGT:

Zoisit und Epidot bilden kleine Körner bis ziemlich große Kristalle, immer an Biotit gebunden. Aus diesem und aus Plagioklas entstanden. Chlorit finden wir sehr wenig, nur als Umwandlungsprodukt

aus Biotit. Serizit bildet ganz kleine Schüppchen feinverteilt im Plagioklas. Karbonat, bei dem es sich nach der Zwillingslamellierung um Kalzit handeln dürfte, finden wir als Umwandlungsprodukt aus Plagioklas.

Geschätzte Mengenverhältnisse:

Plagioklas 20—30 %, Biotit 40—60 %, Quarz 5—15 %, NGT 0—10 %.

Wie aus dem Mineralbestand ersichtlich ist, handelt es sich um einen Kersantit. Diese werden ja aus dem Gotthardmassiv häufig beschrieben, immer im Gefolge der spätherzynischen Granit-intrusionen. Mikroskopische Vergleiche mit Dünnschliffen von H. M. HUBER (1943) zeigten mir, daß mit den von ihm als Kersantite bezeichneten Ganggesteinen Übereinstimmung besteht.

Anhang:

Bleiglanzvorkommen im Streifengneis

Etwas östlich der Lagozze della Miniera, auf einer Höhe von 2530 m, befinden sich drei kleine alte Schürf- oder Abbaustellen auf Bleiglanz. Schon früher, und dann wieder während des Ersten Weltkrieges, wurde hier auf Blei geschürft (C. SCHMIDT 1920, E. KÜNDIG und F. DE QUERVAIN 1953).

Der Bleiglanz befindet sich auf den N 170° E streichenden Klüften, die fast senkrecht einfallen. Die Kluftflächen sind ziemlich dicht mit Bleiglanz belegt. Außer Quarz ist auch noch Kalzit in diesen Klüften anzutreffen. In den Ausbeutungsschlitzten, die längs den Kluftflächen angelegt sind, ist festzustellen, daß der Gehalt von den reichsten Stellen aus in NS-Richtung rasch wieder abnimmt. Auch scheint die mittlere Schürfung die reichste gewesen zu sein, die weiter östlich und die weiter westlich gelegene sind schon viel ärmer an Bleiglanz.

Nach diesen Beobachtungen zu urteilen ist der Bleiglanz örtlich begrenzt. Wie weit er sich noch erstreckt, konnte ich nicht feststellen, da in den geschlossenen Klüften nur durch Schürfungen festgestellt werden kann, ob sie auch Bleiglanz enthalten. Auch in offenen Kluftflächen konnte ich nirgends Erz feststellen, doch kann es dort natürlich aberodiert sein. In anders laufenden Klüften und in den Quarzgängen ist nirgends Bleiglanz zu entdecken. Andere Erze, z. B. Zinkblende, fehlen vollkommen.

II. Petrographie des Biotit-Apatitschiefers

A. Feldbeobachtungen

Am südlichen Abhang des Val Cadlimo liegen am Rande einer flachen Mulde, auf einer Höhe von 2517 m und bei den Koordinaten 699350/157250, drei winzige Seelein, Lagozze della Miniera¹⁾ genannt (Tafel II). Von diesen aus zieht nach Osten und nach Westen eine Zone dunkler, verwitterter Gesteine, die von dem hellen, harten Streifengneis deutlich absticht. Es ist das der von L. J. KRIGE (1918) zum ersten Mal erwähnte Biotit-Apatitschiefer.

Wie aus der Karte Tafel II ersichtlich ist, können wir zwei parallel verlaufende Züge erkennen, die etwa 30 m voneinander entfernt sind. Kleinere Einlagerungen, die aber nur wenig mächtig sind und schnell wieder auskeilen, sind auch außerhalb dieser Hauptzone zu finden. Alle diese Lagen sind vollkommen konkordant zu dem umgebenden Orthogneis, d. h. sie streichen N 100° E und fallen mit 40° gegen Norden ein. Ich konnte nirgends irgendwelche Diskordanz feststellen.

Im Ostteil ist die nördliche Schicht bis einige Meter mächtig entwickelt, während die südliche nur wenige Zentimeter bis höchstens 40 cm dick ist. Im Westteil ist die südliche Zone viel mächtiger, die nördliche aber nur noch stellenweise angedeutet²⁾. Wie weit Ost- und Westteil die gegenseitige Fortsetzung voneinander darstellen, ist nicht sichergestellt, da der mittlere Teil durch Schutt und durch die Seelein verdeckt ist.

Ich widme mich im folgenden hauptsächlich der Beschreibung der Hauptzonen, d. h. im Osten der nördlichen, im Westen der südlichen, da die Nebenzonen prinzipiell das gleiche Bild bieten.

Beschreibung der Hauptzonen:

Im Osten setzt die Hauptschicht in einer Höhe von 2595 m, am Grat der vom Punkt 2636 gegen das Cadlimo-Tal führt, mit einer Gesamtmächtigkeit von 6 m ein. Noch weiter östlich streicht sie infolge der anschließenden Mulde unterhalb des Schenadù in die Luft aus. Sie ist noch etwa 50 m weit in diese Mulde hinunter verfolgbar. Es befindet sich hier von den Untersuchungen während der Kriegszeit her eine Schürfstelle, so daß die ganze Schicht freiliegt.

Es bietet sich folgendes Profil (von N nach S):

0 —0,3 m Gneis mit dünnen Lagen von Schiefer

0,3—0,5 m reiner Biotit-Apatitschiefer

0,5—1,0 m Gneis mit Schieferzwischenlagen

1,0—3,0 m reiner Biotit-Apatitschiefer

3,0—6,0 m Gneis mit Lagen von Schiefer, die manchmal weit auseinander liegen, manchmal eng geschart sind.

Das Profil von 6 m enthält 3,2 m Biotit-Apatitschiefer.

Die Grenzen gegen den Gneis sind makroskopisch beurteilt ziemlich scharf, besonders dort, wo die großen Schieferkomplexe einsetzen. Die dünneren Lagen sind z. T. dichter und weniger schiefrig ausgebildet, sie enthalten beträchtliche Mengen Feldspat.

Im Prinzip sind die anderen Querschnitte von dem Beschriebenen nicht sehr verschieden, wenn auch die Mächtigkeit der ganzen Zone und des eigentlichen Biotit-Apatitschiefers stark wechselt. Die

¹⁾ Auf der Landeskarte heißt die Umgebung der Seelein Piatto della Miniera.

²⁾ H. E. ALTHAUS (1946) war der Auffassung, daß im östlichen Teil der südliche Komplex der mächtigere sei, im westlichen Teil der nördliche. Nach meinen Beobachtungen ist es gerade umgekehrt.

Schichten mit reinem Biotit-Apatitschiefer bleiben dabei nicht über die ganze Längserstreckung konstant, ihre Mächtigkeit nimmt zu und ab, auch können sie nach einer gewissen Entfernung auskeilen. Dafür setzen wieder andere ein, teilweise in direkter Fortsetzung, teilweise dazu verschoben. So treffen wir 100 m westlich vom eben beschriebenen Querschnitt folgendes Bild:

0,0—1,0 m	Gneis mit Schieferzwischenlagen	N
1,0—1,4 m	Gneis	
1,4—2,0 m	Gneis mit Schieferzwischenlagen	
2,0—3,8 m	reiner Biotit-Apatitschiefer	
3,8—4,2 m	Gneis mit Schieferzwischenlagen	
4,2—4,8 m	Gneis	
4,8—7,9 m	reiner Biotit-Apatitschiefer	
7,9—8,4 m	Gneis mit Schieferzwischenlagen.	S

In diesem Querschnitt enthält die ganze Zone von 8,4 m Mächtigkeit 5,5 m Biotit-Apatitschiefer. Vom östlichsten Punkt bis zu dem eben beschriebenen verläuft die Zone fast horizontal und nimmt von 6,0 auf 8,4 m zu. Von diesem Punkt an, der auf 2585 m liegt, zieht sie gegen die Lagozze della Miniera hinunter. Dabei nimmt ihre Mächtigkeit beständig ab. In 2555 m Höhe beträgt die Mächtigkeit der ganzen Zone noch 4 m, diejenige des Schiefers noch 2,8 m. Dann verschwindet sie unter dem Schutt und ist nur noch stellenweise sichtbar. Im tiefsten Punkt, in 2517 m Höhe, finden wir nur noch einen Querschnitt von 80 cm und nur 60 cm Biotit-Apatitschiefer. Dann verdecken der Schutt und die Seelein jede weitere Beobachtung und erst weiter westlich finden wir in der Richtung der direkten Fortsetzung weitere kleine Einlagerungen.

Die kleine Nebenzone im östlichen Teil, die zuoberst nur eine Mächtigkeit von 10 cm hat, dann strichweise auf 40 cm anschwillt, verschwindet schon auf 2560 m vollständig unter dem Schutt. In ihrer Fortsetzung treffen wir nun westlich der Seelein weiteren Biotit-Apatitschiefer an. Zuerst ist diese Zone 16 m breit, besteht aber nur aus dünnen Einlagerungen im Gneis. Diese Einlagerungen sind fester und weniger schiefrig als das reine Gestein. Derartige massigere Vorkommen des Biotit-Apatitschiefers habe ich auch schon bei der Beschreibung der Ostseite erwähnt. Sie sind in dünneren Lagen anzutreffen und die mikroskopische Untersuchung ergab, daß sie auch Feldspat enthalten.

Von der 16 m mächtigen Zone sind höchstens 4 m Biotit-Apatitschiefer. Weiter westlich folgt wieder Schutt und erst bei 2540 m wird der Schiefer wieder sichtbar. Eine kompakte Schieferzone stellt sich nun wieder ein. Von N nach S finden wir zuerst eine 3 m mächtige Schicht von Biotit-Apatitschiefer, dann folgen noch 8 m Gneis mit Zwischenlagen. Bei 2550 m Höhe beträgt die Gesamtmächtigkeit 12 m und die Schiefermächtigkeit 5 m. Die Zone steigt nun noch schwach bis auf 2558 m und senkt sich dann wieder, da eine Einmuldung folgt. Auch auf der Südseite des Querschnittes kommt eine kompakte Schieferschicht dazu, die bis 4 m mächtig wird. Auf 16 m finden wir 9 m Schiefer. Die Gesamtzone verbreitet sich weiter nach Westen immer mehr. Weitere dichte Schieferkomplexe stellen sich ein, die jedoch langsam aufspalten je tiefer wir kommen. Die Schieferlagen werden immer dünner, verteilen sich auf eine immer größere Zone und verlieren sich unterhalb 2500 m ganz.

Damit sind wir am andern Ende des aufgeschlossenen Apatitlagers angelangt. Der östlichste und der westlichste Punkt, an dem ich noch Biotit-Apatitschiefer feststellen konnte sind 1,100 km voneinander entfernt.

Beziehungen zwischen Biotit-Apatitschiefer und Streifengneis

Im Biotit-Apatitschiefer finden wir immer wieder Schollen, Linsen und Bänder von Gneis. Der Schiefer biegt manchmal in die Zwischenräume der Schollen hinein, so daß wir an gewissen Stellen von Boudinage sprechen können. Durch das Einbiegen des Schiefers sind aber keine später ausgefüllten Hohlräume entstanden, es fand langsam ein Ausgleich in demselben statt. Die Figur 5 gibt schematisch diese Verhältnisse wieder.

Die Schollen, Linsen und Bänder können auch verbogen sein, oder zerbrochen, zerrissen und gestreckt. Alle diese Erscheinungen deuten auf eine starke Längsstreckung während der Metamorphose hin, bei der die Gneislagen gedehnt, ausgewalzt und in Schollen zerrissen wurden. Das ist bei der ver-

schiedenen Dehnbarkeit der beiden Gesteine nicht weiter erstaunlich. Die beschriebenen Beobachtungen zeigen, daß vor der Metamorphose Einlagerungen und trennende Bänder von granitartigen Gesteinen das basische Gestein durchzogen haben. Die Figur 6 soll ein Bild der Verhältnisse vermitteln.

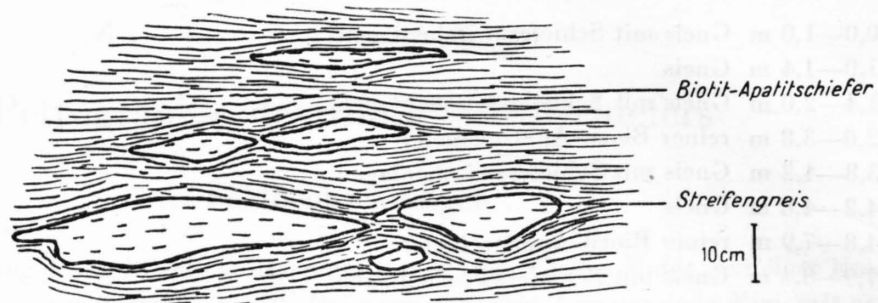


Fig. 5. Einbiegen des Biotit-Apatitschiefers zwischen die Gneisschollen.

Bei einem kleineren Vorkommen von Biotit-Apatitschiefer außerhalb der großen Zonen konnte ich ein Bild beobachten, wie es Figur 7 zeigt. Es handelt sich um einen Schnitt senkrecht zur Streichrichtung, wie er durch die Erosion bloßgelegt wurde.



Fig. 6. Schollen und Bänder von Streifengneis im Biotit-Apatitschiefer.

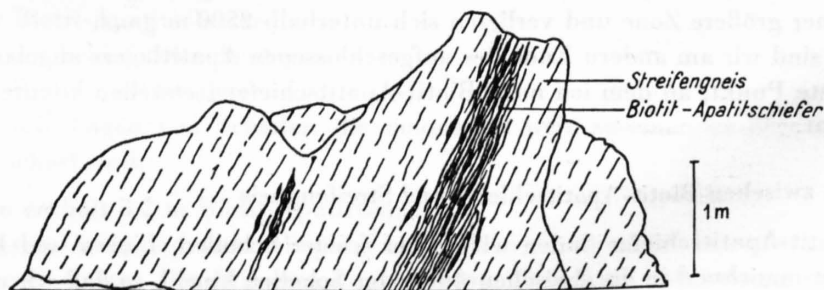


Fig. 7. Schiefereinlagerung im Gneis.

Wie in der Figur 7 sichtbar, verläuft die Biotit-Apatitschiefer vollkommen konkordant zum Streifengneis. Die kleinere Linse endet im Gneis. Kleinere Schnüre und Linsen begleiten die Haupteinlagerungen auf beiden Seiten. Es sind aber auch noch die dünnsten Linsen ziemlich scharf vom Gneis getrennt, es findet nicht ein langsamer Übergang statt.

B. Physiographie der Gesteine innerhalb der Biotit-Apatitschieferzone.

Ich halte es für das zweckmäßigste bei der Besprechung der Gesteine dieser ganzen Zone, vier Unterteilungen zu machen:

1. Reiner Biotit-Apatitschiefer, nur aus Biotit, Quarz, Apatit und Titanit bestehend;
2. Biotit-Apatitschiefer in Lagen und Linsen wechselnd mit dem Streifengneis, aber von diesem noch scharf getrennt;
3. Biotit-Apatitschiefer von Bestandteilen des Gneises so intensiv durchdrungen, daß ein einheitliches Gestein entstanden ist;
4. Streifengneis innerhalb und am Rande der Zone.

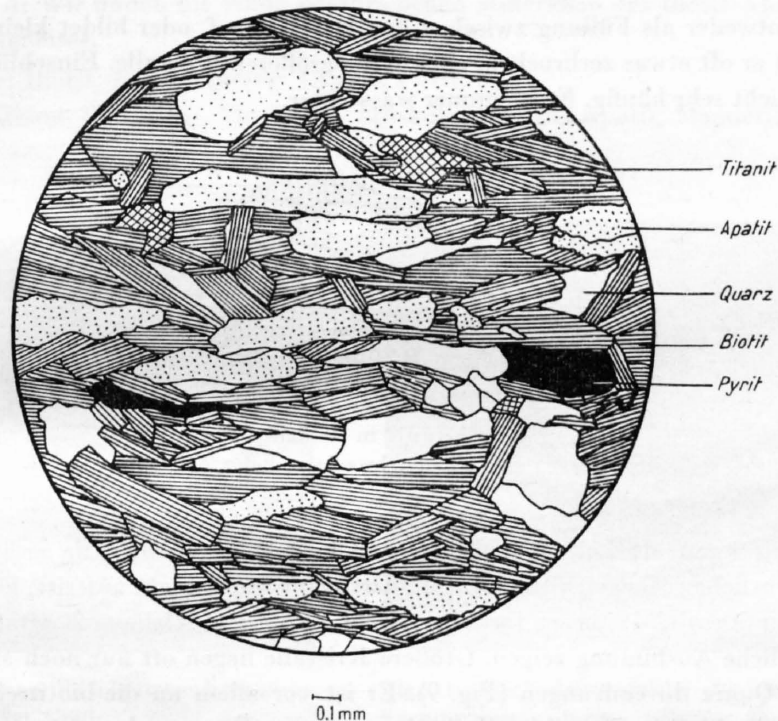


Fig. 8. Reiner Biotit-Apatitschiefer. Zeichnung nach Dünnschliff.

1. Reiner Biotit-Apatitschiefer¹⁾

Makroskopisch handelt es sich um ein stark geschiefertes, schwarzes Gestein mit weißen Sprenkeln von Apatit. Es ist leicht verwitterbar und zerfällt schon bei leichtem Anschlagen.

Mikroskopische Beobachtungen (Fig. 8, 13, 14):

Struktur: Die Struktur ist lepidoblastisch und homöoblastisch. Das Gefügebild ist monoschematisch. Mittelkörnig.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralien:

HGT Biotit, Apatit, Quarz.

NGT Titanit, Pyrit.

Biotit:

Der Pleochroismus ist braun bis blaßgelb. Die gut entwickelten Blätter sind mehr oder weniger parallel und liegen in der Schieferungsebene. Wo größere Ansammlungen von Biotit sind, liegen die

¹⁾ Die Bezeichnung «Biotit-Apatitschiefer» erscheint zweckmäßiger als der von E. AMBÜHL (1943) eingeführte Name «Corandonit».

Blätter oft wirrstrahlig durcheinander, wobei aber trotzdem nur wenige Kristalle in ganz verschiedener Richtung liegen. Teilweise umschmiegen sie die Apatite, sich ihrem Umriß anpassend, teilweise grenzen sie mit scharfem Rand an dieselben. Die Biotite können von Quarz resorbiert sein. Sie sind nicht sehr einschlußreich, doch können wir Kristalle aller andern Mineralien in ihnen finden. Nach den Analyseergebnissen (S. 27) sind die Biotite nicht einheitlich zusammengesetzt.

Apatit:

Der Apatit tritt in langgestreckten Körnern auf, mit einer Länge von 0,3—1,0 m. Er ist farblos bis leicht bräunlich oder gelblich. In Rissen finden wir Entwicklungen von Biotit und Quarz. Die einzelnen Kristalle sind meist von Biotit umgeben. Sie zeigen scharfe Grenzen gegen die andern Bestandteile. Einschlüsse sind keine zu beobachten.

Quarz:

Er tritt entweder als Füllung zwischen den Biotiten auf, oder bildet kleine, längliche Linsen. In den letzteren ist er oft etwas zerbrochen, ebenso die größeren Kristalle. Einschlüsse von Biotit kommen vor, sind aber nicht sehr häufig. Er ist immer wasserklar.

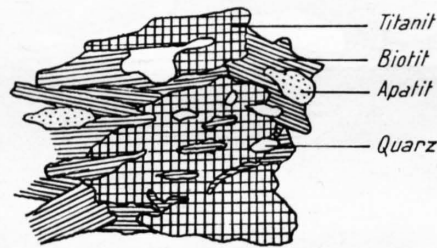


Fig. 9. Titanit in Biotit-Apatitschiefer, siebartig durchwachsen. Vergr. 60 ×.

Titanit:

Der Titanit kann als Leit-Nebengemengteil betrachtet werden, da er im Biotit-Apatitschiefer immer in beträchtlichen Mengen vorkommt, im Orthogneis aber nicht auftritt. Er ist in dieser Beziehung typischer als der Apatit, da dieser im Gneis nicht selten ist. Kleinere Kristalle können die typische rhomboederähnliche Ausbildung zeigen. Größere Kristalle liegen oft nur noch als Relikte vor, siebartig von Biotit und Quarz durchdrungen (Fig. 9). Er ist vor allem an die biotitreichen Stellen gebunden, manchmal als Einschluß in denselben. Teilweise auch von Erz umgeben.

Pyrit:

Pyrit finden wir in Körnern und auch als derbe oder skelettartige Massen. Meist zwischen Biotiten oder innerhalb derselben. Einschlüsse von Biotit und Quarz sind zu beobachten.

Bei der Untersuchung der Schweremineralien des Biotit-Apatitschiefers beobachtete ich Kristalle, deren optische Daten mit keinen in der mir zugänglichen Literatur angegebenen übereinstimmen. Es handelt sich um sehr kleine, langgestreckte Kristalle mit prismatischem Habitus. Die Länge der größeren beträgt 0,1 mm, die Breite einer Seite 0,03 mm. Es ist ein ausgeprägter Pleochroismus zu beobachten, blau-violett in der Längsrichtung, farblos quer dazu. Die Doppelbrechung ist gering, die Dispersion sehr stark und zwar $r > v$. Die Kristalle sind zweiachsig positiv, $2V$ beträgt ungefähr 60° . n_β liegt in der Prismenrichtung, die Achsenebene senkrecht dazu. Die Auslöschungsrichtung von n_β zur Prismenkante schwankt zwischen 0° und 4° . Das Mineral ist in Säuren unlöslich. Das spezifische Gewicht ist wenig größer als 3,3 (Methylenjodid). In manchen Kristallen sind schwarze Einschlüsse festzustellen. n_α und n_γ von Kern und Rand sind oft verschieden orientiert. Der mittlere Brechungskoeffizient ist schwach größer 1,74. Nach Pulveraufnahmen auch an Vergleichspräparaten von Epidot und Orthit dürfte das Mineral dem Epidot nahestehen, trotz seinen für diese Mineralgruppe ungewöhnlichen optischen Eigenschaften. Diese und die Kleinheit der Individuen führt zur Vermutung, daß es seltene Elemente führt.

2. Biotit-Apatitschiefer wechselnd mit Lagen von Streifengneis

Makroskopisch bemerken wir am Handstück die scharf begrenzten Bänder und Linsen von Streifengneis und Schiefer, deren Mächtigkeit von einigen Millimetern bis mehreren Zentimetern wechselt. Es sind aber deutlich die beiden Gesteine auseinander zu halten, Gneis und Schiefer grenzen aneinander und bilden nicht etwa ein chorismatisches Gestein (Fig. 10, 11).

Mikroskopische Beobachtungen:

Struktur: Wir müssen unterscheiden zwischen der Struktur des Schiefers und der des Gneises.

Die Struktur ist wieder lepidoblastisch in den Schieferpartien, im Streifengneis wie gewöhnlich granoblastisch. Quarzreiche Stellen sind oft kataklastisch.

Textur: Die Textur ist überall als Kristallisationsschiefrig zu bezeichnen.

Mineralbestand: Wir finden die schon beschriebenen Mineralien des Biotit-Apatitschiefers und des Streifengneises.

Im Schiefer: Biotit, Apatit, Quarz, Titanit, Pyrit.

Im Gneis: Quarz, Orthoklas, Plagioklas, Muskowit, Biotit, Apatit, Magnetit, Epidot, Zoisit, Chlorit, Kalzit.



Fig. 10. Biotit-Apatitschiefer mit Bändern von Streifengneis. Nat. Größe.

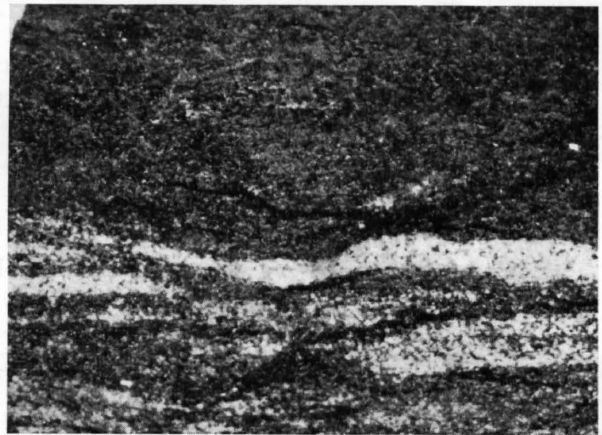


Fig. 11. Biotit-Apatitschiefer mit dünnen Lagen von Streifengneis, bereits teilweise Durchmischung. Nat. Größe.

Die Mineralien unterscheiden sich prinzipiell nicht von den bei den Einzeltypen beschriebenen. Der Orthoklas des Streifengneises führt hier größere Mengen von Quarzeinschlüssen als anderswo. Der Biotit des Schiefers ist an den Grenzen oft durch Orthoklas und Quarz des Gneises etwas resorbiert. Der Orthoklas zeigt auch Einschlüsse von Biotit.

Was uns besonders interessiert sind die gegenseitigen Beziehungen und die Verhältnisse an den Grenzen.

Die Grenzen der beiden Gesteine sind scharf, irgendwelche Durchmengungen kommen nicht vor. Auch dünne Linsen von Biotit-Apatitschiefer enthalten keine Feldspäte. Umgekehrt kann aber der Gneis Bestandteile des Schiefers enthalten. Dabei kommen zwei verschiedene Verhältnisse vor:

- a) Am Rande ragen einzelne Biotite in den Gneis hinein. Auch im Innern treffen wir Biotitporphyroblasten, die wahrscheinlich auf den Einfluß des Schiefers zurückzuführen sind, da sie sonst im Streifengneis nicht in solcher Größe und Zahl anzutreffen sind. Sonst besteht aber eine scharfe Trennung. Ein solches Bild zeigt uns Figur 15.
- b) Dünne Schnüre von Biotit, Apatit und Titanit ziehen noch in den Gneis hinein. Meist sind diese Schnüre mehr oder weniger parallel der Schieferung gelagert. Orthoklas kann Einschlüsse von Apatit und Titanit zeigen. Die eigentlichen Biotit-Apatitschieferlinsen enthalten aber auch hier wie unter a) keine Feldspäte. Ein solches Beispiel zeigt Figur 16.

Die Figur 17 zeigt ein Übergangsglied zu dem unter 3. zu besprechenden Schiefer, der von Orthogneis durchdrungen ist. Die Grenzen sind nicht mehr so scharf, Schieferbestandteile ragen in den Gneis hinein, Feldspäte in den Schiefer. Man kann zwar noch nicht von Durchmischung sprechen, der Ausdruck «randliche Durchdringung» ist aber kaum übertrieben.

3. Biotit-Apatitschiefer vermengt mit Bestandteilen des Streifengneises

Dieser Typ ist dort anzutreffen, wo nur dünne Lagen und Linsen den Gneis durchziehen. Dieses Gestein ist schon so einheitlich ausgebildet, daß man eigentlich von Biotit-Apatitgneis sprechen könnte. Es ist härter und weniger schiefrig.

Mikroskopische Beobachtungen:

Wir müssen wieder zwei verschiedene Typen unterscheiden:

- a) Die Feldspäte bilden noch eigene Linsen, die teilweise miteinander verbunden sind. Schiefer und Gneisbestandteile sind mehr oder weniger getrennt. Es ist dies ein mittleres Glied zwischen dem in Figur 17 dargestellten und dem nächstfolgenden, unter b) beschriebenen.
- b) Es hat sich ein ziemlich einheitliches Gefügebild herausgebildet. Die Bestandteile der beiden Gesteine sind regelmäßig verteilt.

Struktur: Die Struktur ist immer noch vorwiegend lepidoblastisch. Wo noch Feldspatlinsen vorhanden sind, ist sie dort granoblastisch, oft auch kataklastisch. Einzelne große Orthoklase können auch ein porphyroblastisches Gepräge geben. Kyriosom und Akyrosom ist zu unterscheiden.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand: Mineralien von Apatit-Biotitschiefer plus Streifengneis.

Ich möchte von diesen Mineralien nur die folgenden besprechen, da sonst prinzipiell nichts Neues zu beobachten ist.

Orthoklas:

Der Orthoklas ist perthitisch entmischt und enthält oft Einschlüsse von Quarz, Albit, Biotit, Serizit, Apatit, Titanit. Es sind Myrmekitbildungen festzustellen.

Albit:

Der Albit ist viel besser idiomorph als der Orthoklas und enthält nur Einschlüsse von wenig Serizit. Er zeigt gute Zwillinglamellierung. Oft scheint er sich auf Kosten des Orthoklases ausgedehnt zu haben.

Biotit:

Er ist nicht mehr so gut in der Schieferungsebene geordnet. Oft windet er sich in Strängen zwischen dem Feldspat hindurch.

Muskowit:

Er tritt immer zusammen mit dem Biotit auf, aber in viel geringerer Menge.

Die Photos Figuren 18 und 19 geben ein Bild der beiden besprochenen Gesteinstypen.

Wir können also sehen, daß nicht überall die gleichen Verhältnisse vorliegen. Es gibt Übergänge vom scharfen Kontakt über randliche Durchdringung bis zur Bildung eines Mischgesteins. Der erste Fall tritt auf, wenn nur relativ dünne Lagen von Gneis mit dem Schiefer abwechseln. Randliches Eindringen von Schnüren aus Biotit, Apatit und Titanit in den Gneis treffen wir vor allem dort, wo größere Massen beider Gesteine zusammenstoßen. Mischgesteine treten auf, wenn schmale Schieferlinsen im Gneis eingelagert sind. Die letzteren sind auf der Westseite häufiger als auf der Ostseite.

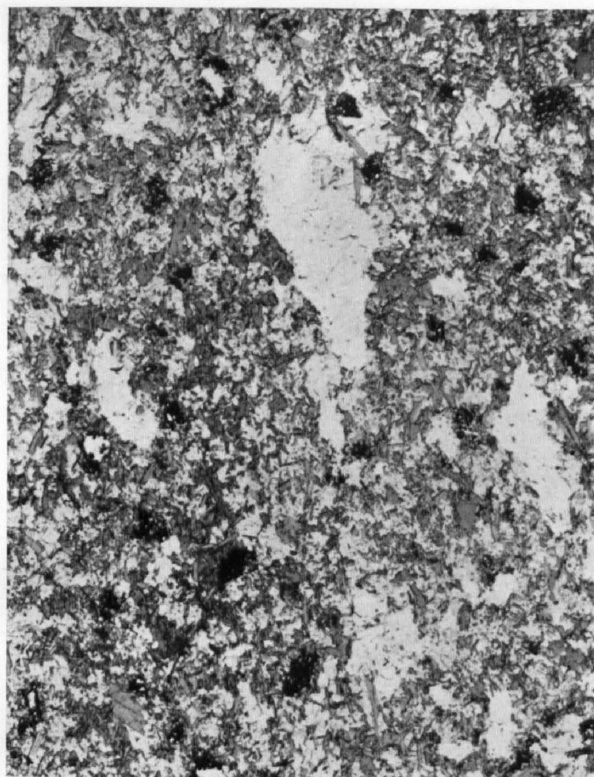


Fig. 12. Dünnschliffbild des Lamprophyrs im Streifengneis. Vergr. $10\times$ (Seite 16).

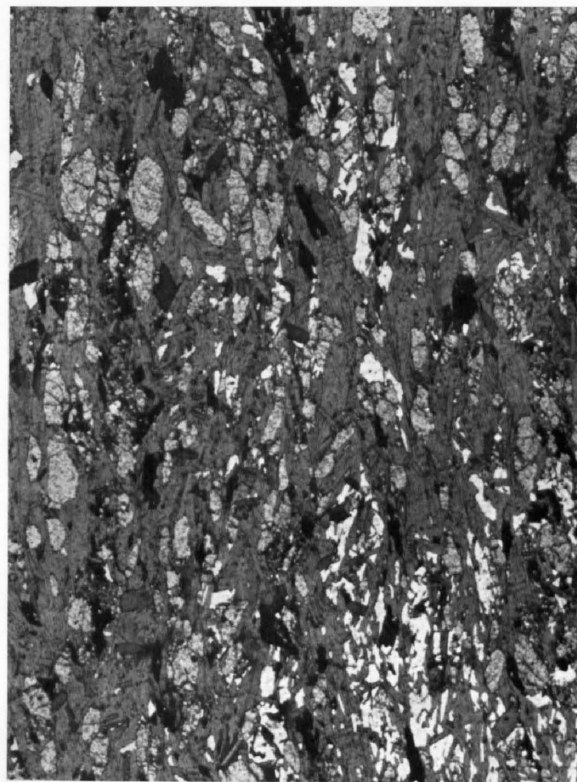


Fig. 13. Reiner Biotit-Apatitschiefer. Dünnschliffphoto senkrecht zur Schieferung. Vergr. $12\times$ (Seite 21).

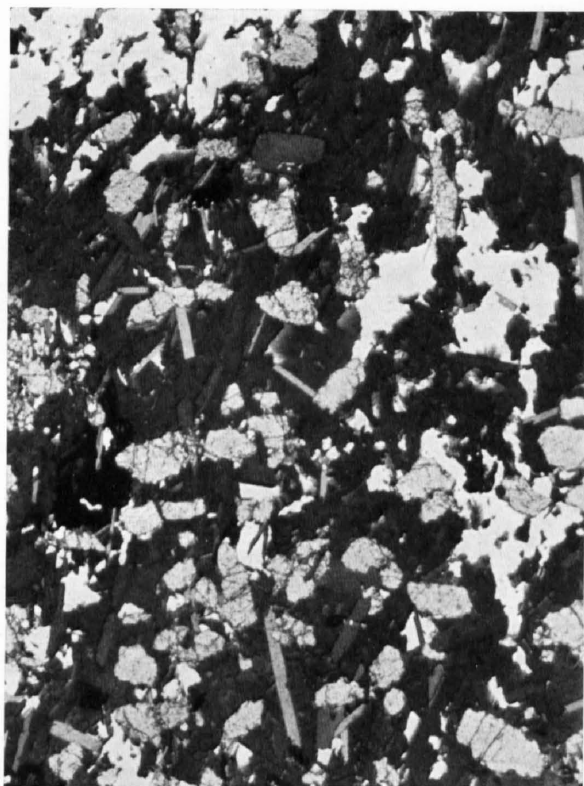


Fig. 14. Reiner Biotit-Apatitschiefer. Dünnschliffphoto parallel zur Schieferung. Vergr. $10\times$ (Seite 21).



Fig. 15. Dünnschliffphoto eines Gneisbandes im Biotit-Apatitschiefer. Vergr. $10\times$ (Seite 23).

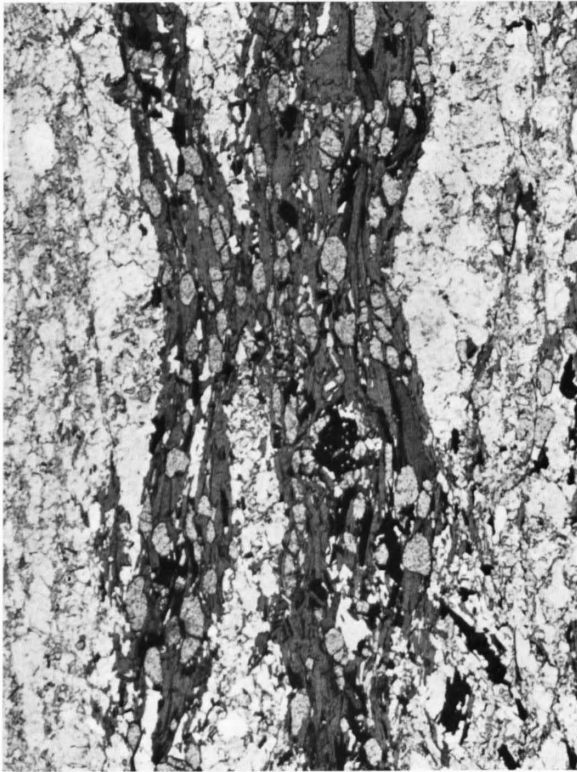


Fig. 16. Dünnschliffphoto einer Lage von Biotit-Apatitschiefer im Streifengneis. Vergr. $10\times$ (Seite 23).



Fig. 17. Dünnschliffphoto einer Partie mit beginnender Durchdringung von Biotit-Apatitschiefer und Streifengneis (Seite 24).



Fig. 18. Feldspateinschlüsse (Linsen) im Biotit-Apatitschiefer. Dünnschliffphoto. Vergr. $9\times$ (Seite 24).



Fig. 19. Streifengneis und Biotit-Apatitschiefer eng durchmengt. Dünnschliffphoto. Vergr. $10\times$ (Seite 24).

4. Gneise in der Biotit-Apatitschieferzone

Makroskopisch stellen wir fest, daß die Gneise nicht so ausgesprochen gebändert sind wie außerhalb der Zone. Die Abwechslung von Feldspat und Quarz mit Glimmer ist nicht mehr so regelmäßig. Meist sind sie etwas bräunlich bis rötlich gefärbt, nicht so frisch und weiß wie sonst.

Mikroskopische Beobachtungen:

Struktur: Granoblastisch.

Textur: Kristallisationsschiefrig.

Mineralbestand: Wie überall im Streifengneis, ergänzt durch einige Mineralien des Schiefers.

Albit:

Albit ist oft viel häufiger als im gewöhnlichen Streifengneis. Er scheint Orthoklas und Quarz verdrängt zu haben.

Muskowit:

Der Muskowit reichert sich vielfach gegen die Grenze des Schiefers hin stark an. Wir können auch Linsen finden, die fast nur aus Serizit und Quarz bestehen. Die Muskowit-Anreicherung ist wohl auf die Beeinflussung durch den sehr kalireichen Biotit-Apatitschiefer zurückzuführen.

Orthoklas:

Der Orthoklas führt wie schon bei anderer Gelegenheit erwähnt, mehr Quarzeinschlüsse.

Schnüre von Biotit, Apatit und Titanit sind von der Grenze her noch eine Strecke weit im Gneis anzutreffen. Sie sind parallel der Schieferungsebene geordnet und oft von Muskowit und Zoisit begleitet. Diese Schiefermineralien sind oft von Orthoklas umgeben oder ragen in diesen hinein. Diese Erscheinung ist wohl auf die Umkristallisation während der Metamorphose zurückzuführen. Figur 20 gibt das Bild einer solchen Schnur im Gneis.

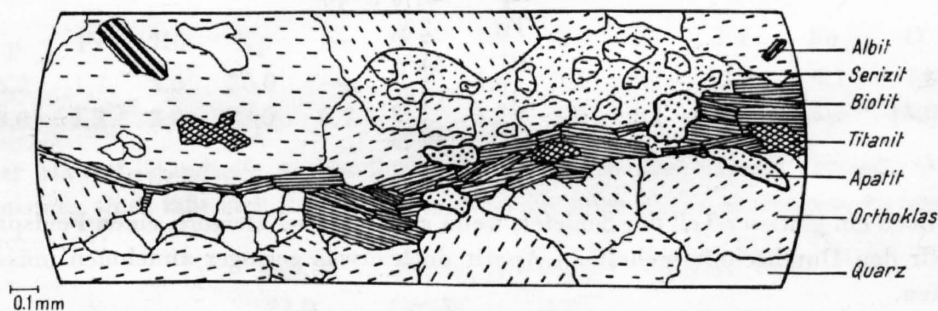


Fig. 20. Dünne Lagen von Biotit-Apatitschiefer im Streifengneis.
Dünnschliffzeichnung. Vergr. 30×.

5. Quantitativer Mineralgehalt von Biotit-Apatitschieferproben

Prinzipiell liefern Dünnschliffausmessungen, die nur in einer Ebene ausgeführt werden, nur bei massigen Gesteinen mit mehr oder weniger isometrischen Kristallen richtige Werte. E. WENK hat zu dieser Frage in seiner Arbeit über die Bändergneise von Ornö Huvud (1936) Untersuchungen an geschieferten Gesteinen gemacht, wobei er in den drei Hauptrichtungen Messungen durchführte. Er stellte dabei fest, daß die Ausmessungen senkrecht zur Schieferungsebene sehr gute Resultate ergeben und daß damit die planimetrische Analyse mit Hilfe des Integrationstisches also auch bei anisotropen Gesteinsgefügen mit Erfolg angewendet werden kann.

Leider konnte ich nur eine Schliffvermessung durch den chemisch berechneten Mineralbestand überprüfen, da ich nur von einem Handstück (Probe B) Schliff und Analyse zugleich hatte.

Vergleich von Dünnschliffvermessung und berechnetem Mineralbestand (Probe B, S. 27):

Dünnschliffvermessung		Berechneter Mineralbestand	
Ap	19,2 % Vol	Ap	20,3 % Äq.
Tit	4,4 %	Tit	5,3 %
Bi	65,0 %	Bi	59,7 %
Q	11,4 %	Q	14,7 %

Da das eine Äquivalent-Prozent und das andere Volumen-Prozent sind, müssen gewisse Abweichungen bestehen. Der Apatit- und der Titanitgehalt stimmen sehr gut überein. Daß Biotit und Quarz etwas größere Differenzen zeigen, könnte darauf zurückzuführen sein, daß unser Biotit vielleicht etwas mehr Quarz enthält, was wir ja bei unserer Berechnung nicht genau bestimmen konnten. Die Übereinstimmung des uns am meisten interessierenden Apatits, auf dessen Berechnung wir uns auch genau verlassen können, ist aber so gut, daß ich glaube, daß wir den Schliffvermessungen trauen dürfen. Ich bin mir natürlich dabei bewußt, daß uns eine einzige Kontrolle keine Gewähr bietet. Nach den Angaben von WENK aber, der viel mehr Material untersucht hat, scheint es sich nicht nur um einen Zufall zu handeln.

Weitere Ausmessungen an reinen Biotit-Apatitschieferproben:

Ap	29,0	22,0	17,0	25,0	21,0	Vol- %
Tit	2,0	3,3	5,0	3,0	1,5	Vol- %
Bi	57,0	60,0	54,0	65,0	59,5	Vol- %
Q	12,0	14,7	24,0	7,0	18,0	Vol- %

Der Durchschnitt aus allen Schliffvermessungen beträgt 22,2 Vol- %. Zu den Gewichts-Prozenten besteht kein großer Unterschied, da Biotit und Apatit fast das gleiche spez. Gewicht haben, Quarz ein kleineres und Titanit ein höheres. Die Überslagsberechnung ergibt 24 Gew.- % Apatit. Das entspricht einem P_2O_5 -Gehalt von 10 %.

Die Ausmessung eines Schliffes mit Feldspatgehalt ergab folgende Resultate:

Ap	10 % (Äq.)
Tit	2 %
Bi	44 %
Q	17 %
Or	15 %
Ab	2 %

Da doch ein gewisser Teil der Schiefer, wenn auch der viel kleinere, einen Feldspatgehalt aufweist, werden wir den Durchschnittsgehalt an Apatit doch etwas geringer annehmen müssen, als den oben berechneten.

Eine mechanische Trennung der Gesteinskomponenten gelang nach verschiedenem Probieren, wenn auch nicht ohne Verluste. Bei den ersten Versuchen mit Schwerelösungen zeigte es sich, daß auf diese Weise die vollständige Trennung nicht möglich ist, da das spez. Gewicht der Biotite offenbar unterschiedlich ist. Ein Teil der Biotite sinkt mit dem Apatit zu Boden, anderseits halten die schwebenden Glimmer viel Apatit oben in der Lösung zurück.

Der folgende Trennungsgang erwies sich zuletzt als der beste: In einer Waschpfanne werden zuerst die leichteren Glimmer und ein Teil des Quarzes abgetrennt. Das Waschen darf nicht zu lang betrieben werden, da mit der Zeit relativ immer mehr Apatit ausgeschwemmt wird, weil ja auch von den Glimmern die schweren zurückbleiben. Diese schweren, stark eisenhaltigen Biotite können nun aber gut mit dem Elektromagneten entfernt werden. Zuletzt wird der noch zurückgebliebene Quarz mit Hilfe von Bromoform vom Apatit getrennt. Versuche, schon am Anfang mit dem Magneten zu arbeiten, versagten, da der leichte Biotit nur sehr schwach angezogen wird und die großen Glimmermassen auch andere Bestandteile mit sich reißen. Zur Überprüfung der Schliffvermessungen erwies sich diese Trennungsmethode als nicht genau genug.

C. Chemismus des Biotit-Apatitschiefers

1. Gesamtanalysen

A. Einzelprobe, gesammelt von L. J. KRIGE (J. JAKOB und C. M. KOOMANS 1933), Analyse von C. M. Koomans.

B. Einzelprobe, gesammelt von H. ZWEIFEL, Analyse von J. Jakob (Schweiz. Geotechnische Kommission) 1953.

	A	B
SiO ₂	28,76	36,31
Al ₂ O ₃	8,37	6,73
Fe ₂ O ₃	1,55	1,32
FeO	9,86	10,62
MnO	0,04	0,12
MgO	2,42	7,09
CaO	19,36	13,46
Na ₂ O	1,57	1,94
K ₂ O	8,41	6,05
TiO ₂	4,71	2,86
P ₂ O ₅	12,22	9,04
H ₂ O+	1,73	4,00
H ₂ O—		0,12
F	1,08	0,80
CO ₂	—	—
SO ₃	—	—

Aus den Analysen A und B wurden nach der von P. NIGGLI (1936a) eingeführten Methode die Basiswerte berechnet.

	Cp	Fr	Ru	Kp	Ne	Ks	Ns	Cs	Fs	Fa	Fo	Q
A	26,2	1,7	3,6	30,0	—	1,3	4,6	5,4	3,7	12,6	3,1	7,8
B	19,0	1,3	2,2	23,0	0,7	—	5,2	2,6	1,4	13,4	15,6	15,8

Da nur vier Hauptbestandteile vorhanden sind, von denen drei (Apatit, Titanit, Quarz) von bekanntem Chemismus sind, läßt sich der Mineralbestand ziemlich genau berechnen. Es ergaben sich in Äquivalent-Prozenten:

	Apatit	Titanit	Biotit	Quarz
A	27,9	10,8	55,3	6,0
B	20,3	5,3	59,7	14,7

Der Biotit muß nach den Analysen außergewöhnlich reich an Alkalien und arm an Tonerde sein. Ferner muß das Verhältnis von R^{II} zu R^{III}, aber auch von Mg zu Fe^{II} stark schwanken. Dies stimmt mit der Beobachtung des stark wechselnden spez. Gewichtes der Biotitblättchen innerhalb einer Probe überein (S. 26).

Bei der Berechnung aus der Basis ergibt sich für den Biotit der beiden Analysen folgende mittlere Zusammensetzung (auf 6 SiO₂ berechnet):

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
A	6	1,5	0,4	2,8	0,7	1,8	0,5
B	6	1,2	0,1	2,7	3,2	1,2	0,5

Es scheint im Apatit ein kleiner Gehalt an Na₂O vorhanden zu sein (1,43% nach Bestimmung von J. Jakob).

2. Bestimmungen von P_2O_5 (H. E. ALTHAUS 1946, 1947)

	Gehalt an P_2O_5 -%		
Pickproben 1943 (Lonza AG)	6,54	8,18	8,58
Durchschnittsproben an Schürfstelle der E-Zone (ca. 2580 m) (Lonza AG)	7,91	8,25	9,09 (J. Jakob)
Durchschnittsproben an Schürfstellen der W-Zone (Lonza AG)	8,48	7,02	

Analysenangaben der «Società Mineraria Val Cadlimo» aus beiden Zonen schwanken zwischen 5,2 und 11,4% P_2O_5 . Unsortiertes Material von größeren Abbauproben, das für die Flotationsversuche verwendet wurde (S. 38) schwankte im P_2O_5 -Gehalt zwischen 7,5 und 9,8%.

Die geringe Anwitterung, welche die Proben meistens zeigten, dürfte ohne nennenswerten Einfluß auf den P_2O_5 -Gehalt gewesen sein.

3. Spektrographische Untersuchung

Eine halbquantitative spektrographische Analyse des Biotit-Apatitschiefers konnte durch Vermittlung der Stiftung «Seltene Metalle» durch Herrn Dr. TH. HÜGI in Bern durchgeführt werden. Beiden Stellen möchten wir dafür bestens danken. Der Bericht von Herrn Dr. HÜGI lautet:

Die spektrographische Untersuchung wurde mit Hilfe eines Zeiß-Quarzspektrographen Q 24 vorgenommen.¹⁾ Die Aufnahmetechnik entsprach der von R. L. MITCHELL (1948) zur qualitativen Analyse von Böden usw. beschriebenen (Glimmschichtmethode). Folgende Elemente konnten festgestellt und durch Vergleich abgeschätzt werden:

- a) Ba, Cr, Mn, Sr = um 1000 Teile pro Million (um 0,1%);
- b) Co, Cu, Ga, La, Ni, Sc, V, Y = um 100 Teile pro Million und kleiner (um 0,01% und kleiner);
- c) nicht nachweisbar waren folgende Elemente: Au, Ag, Be, Bi, Cd, Ge, Hg, Pb, Pt, Sn, Th, Tl, W, Zr.

Es handelt sich dabei im wesentlichen um solche Nebenbestandteile, die auf Grund der Anwesenheit der Hauptgemengteile Biotit und Apatit erwartet werden dürfen.

D. Röntgenographische Bestimmung des Apatites

Bei der Bildung von Apatit aus den Basiswerten zeigte es sich, daß gerade genügend Fluor vorhanden ist zur Absättigung. Demnach muß es sich um reinen Fluorapatit handeln. Zur Überprüfung dieses Ergebnisses analysierte ich den Apatit noch röntgenographisch.

Nach H. STRUNZ (in BURRI u. a. 1935) verhalten sich die Achsenverhältnisse der verschiedenen Apatite folgendermaßen:

	a_0	c_0	c/a
1. Fluorapatit	9,37 A	6,88 A	0,734
2. Chlorapatit	9,52	6,85	0,719
3. Hydroxylapatit synth.	9,40	6,93	0,737

Da die Unterschiede der Achsenabschnitte der verschiedenen Apatite nur sehr gering sind, muß deren Bestimmung sehr genau sein. Es wurde deshalb eine Eichung mit Steinsalz vorgenommen. Zudem wurden Cr-K-Strahlung und eine Kamera vom Radius = 57,2 mm verwendet, um eine möglichst große Auflösung zu erhalten. Es ergaben sich dabei folgende Werte:

$$\begin{aligned} c_0 &= 6,87 \text{ A} \\ a_0 &= 9,37 \text{ A} \\ c/a &= 0,733 \end{aligned}$$

Ein Vergleich dieser Daten mit den Ergebnissen von H. STRUNZ zeigt sofort, daß es sich nur um Fluorapatit handeln kann, womit also der chemische Befund bestätigt worden ist.

¹⁾ Für die Benützung des Spektrographen sei Herrn Prof. W. FEITKNECHT bestens gedankt.

E. Chemischer Vergleich mit anderen Gesteinen

1. Mit Lamprophyren aus dem Gotthardmassiv

Schon ein kurzer Vergleich der Niggli-Werte unseres Biotit-Apatitschiefers mit den zahlreich untersuchten Lamprophyren aus dem Gotthardmassiv zeigt uns, daß auch abgesehen von dem p-Wert, große Verschiedenheiten bestehen.

Biotit-Apatitschiefer

si	al	fm	c	alk	p	ti	mg	k	
82	8,9	45,8	32,5	12,8	8,6	4,9	0,51	0,67	Probe B
65	11,2	26,2	47,0	15,6	11,7	8,1	0,18	0,78	Probe A

Verschiedene Lamprophyre aus dem Gotthardmassiv (P. Niggli u. a. 1930)

si	al	fm	c	alk	p	ti	mg	k	
151	27,5	37	18,5	17	0,3	1,8	0,56	0,45	Kersantit, Fibbia
110	24	45,5	18,5	12	0,23	1,4	0,75	0,87	Kersantit, Ronco della Fibbia
96	27	52,5	4,5	16	0,01	1,9	0,46	0,70	Kersantit, Ronco della Fibbia
143	26,5	37,5	21,5	14,5	0,47	1,5	0,58	0,81	Kersantit, Fibbia
108	17,5	47,5	26,5	8,5	—	4,5	0,57	0,22	Spessartit, Monte Prosa

Mittelwert aller Gotthardlamprophyre

si	al	fm	c	alk	p	ti	mg	k
151	27,5	38	20	14,5	—	3,1	0,52	0,47

Man sieht deutlich, daß keine engere chemische Verwandtschaft mit diesen Lamprophyren besteht. Alle andern Lamprophyre aus dem Gotthardmassiv zeigen eine noch viel größere Abweichung. Die si- und besonders die al- und c-Werte sind stark verschieden. Die p-Werte der Gotthardlamprophyre sind nur unbedeutend.

2. Mit Gesteinen anderer Gebiete

Zu lamprophyrischen Gesteinen anderer Gebiete lassen sich ganz vereinzelt engere Beziehungen feststellen. So zeigen zwei Minetten einen ganz ähnlichen Chemismus wie der Biotit-Apatitschiefer bei allerdings tieferen p-Werten (H. S. WASHINGTON 1917):

si	al	fm	c	alk	p	ti	mg	k	
112	15,4	38,0	31,1	14,5	4,6	4,9	0,52	0,72	Apatitminette, Northport, Colorado River
77	11,3	46,2	32,0	10,5	3,7	8	0,46	0,85	Minette, Apishoga Canyon, Colorado

Leider konnte ich keine geologische und petrographische Beschreibung dieser beiden Gesteine finden. Wir können daher nicht feststellen, ob sie ein ähnliches geologisches Auftreten zeigen wie der Biotit-Apatitschiefer oder nicht.

Ferner besteht zu alnötischen Gesteinen eine ziemlich enge Verwandtschaft wie die folgenden Niggli-Werte zeigen:

si	al	fm	c	alk	p	ti	mg	k	
48	8,5	56	31,5	4	2	3,15	0,78	0,68	Alnöit, Norvik, Alnö

Der Biotit-Apatitschiefer kann also nur mit sehr seltenen Typen verglichen werden und weist auch gegenüber diesen noch verschiedene Abweichungen auf. Sein außergewöhnlicher Charakter zeigt sich auch hier deutlich.

Die Diagramme (Fig. 21—23) sollen einen Überblick der chemischen Verhältnisse geben. Neben den gebräuchlichen k- π - und QLM-Diagrammen habe ich noch ein spezielles CpLM-Konzentrationsdreieck verwendet, um den durch den hohen Phosphatgehalt bedingten Unterschied hervorzuheben. Die Drei-

ecke zeigen deutlich, wie trotz gewisser Verwandtschaft mit andern Gesteinen, z. B. den Alnöiten, doch bestimmte Eigenheiten bestehen (vergleiche auch P. NIGGLI 1923, 1936b; C. BURRI und P. NIGGLI 1949).

Zwischen dem Biotit-Apatitschiefer und dem Inhalt der verschiedenen nutzbaren Apatitlagerstätten (siehe Tabelle S. 37) bestehen chemisch keine nähern Beziehungen.

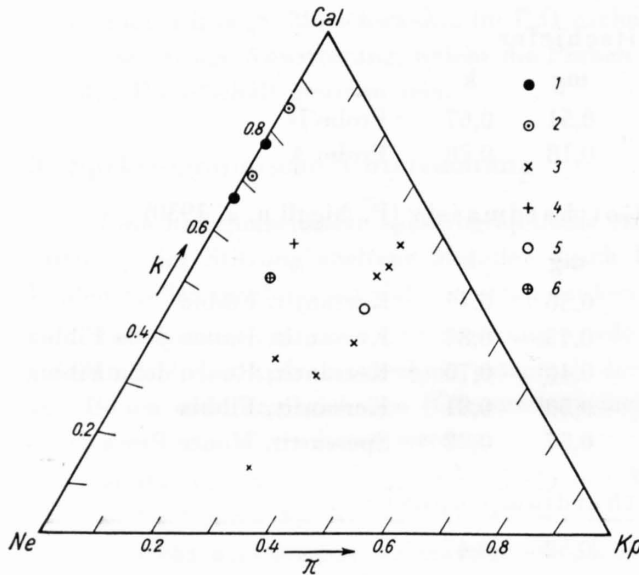


Fig. 21. k- π -Diagramm mit Projektionspunkten des Biotit-Apatitschiefers und von Vergleichsgesteinen. 1 Biotit-Apatitschiefer, 2 Apatit-Minetten, 3 Lamprophyre des Gotthardgebietes, 4 Basische Schlieren in Gotthardlamprophyr, 5 angeführter Alnöit, 6 Mittel von Alnöitanalysen.

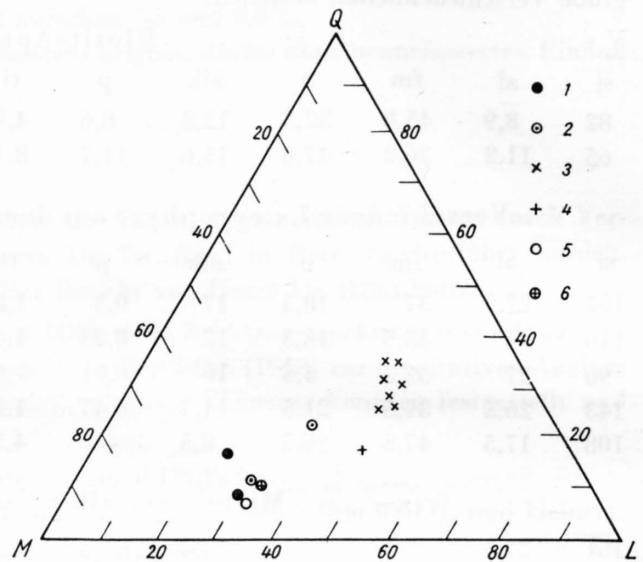


Fig. 22. Q-L-M-Diagramm mit Projektionspunkten von Biotit-Apatitschiefer und von Vergleichsgesteinen. Bezeichnung wie bei Fig. 21.

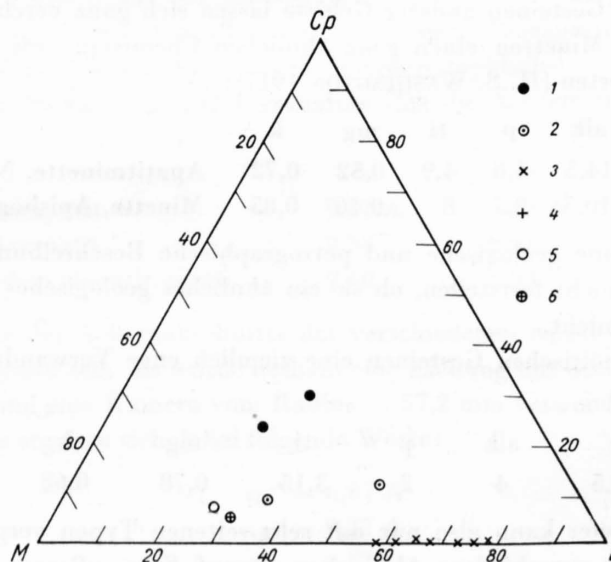


Fig. 23. Cp-L-M-Diagramm mit Projektionspunkten von Biotit-Apatitschiefer und von Vergleichsgesteinen. Bezeichnung wie bei Fig. 21.

F. Versuch zur Deutung der Genese

Prinzipiell können Phosphatlagerstätten auf zwei verschiedene Arten entstehen, auf sedimentärem und auf endogenem Wege.

Für organisch-sedimentäre Entstehung des Biotit-Apatitschiefers sprechen keine Beobachtungen, manche vielmehr dagegen:

1. Es handelt sich um eine Apatitlagerstätte. Primär entsteht aber auf organischem Wege nicht Fluorapatit. Nun könnte man sich zwar vorstellen, daß dieser eine Neubildung der Metamorphose darstellt. Es ist aber unwahrscheinlich, daß gerade so viel Fluor vorhanden war oder zugeführt wurde, daß sich gerade alles Phosphat in Apatit umwandeln konnte, und das Nebengestein zeigt absolut keine Zufuhr von Fluor.
2. Die regelmäßige Verteilung des Apatites auf das ganze Lager, ohne Anreicherung an bestimmten Stellen spricht gegen eine organische Entstehung, bei der einerseits örtliche Konzentrationen und andererseits Stellen mit sehr wenig Phosphat vorkommen müßten. Phosphate gehen nicht so leicht in Lösung, als daß dies einem Umsatz während der Metamorphose zugeschrieben werden könnte. Überdies wäre dabei auch das Nebengestein imprägniert worden, was aber nicht der Fall ist.
3. Der hohe und überall vorhandene Titanitgehalt wäre bei organischer Entstehung nicht zu erklären. Der Gneis ist sehr arm an Titan, eine Zufuhr von dort her also nicht möglich.
4. Das Auftreten als dünne Zonen inmitten von homogenem Orthogneis wäre sehr eigenartig.

Diese Gründe zeigen, daß wir nicht mit einer organischen Entstehung rechnen können und ich möchte daher diese Idee verlassen. Nicht organogene Phosphatanreicherungen (bzw. Apatitlagerstätten im engeren Sinne) können auf verschiedene Weise gebildet werden (siehe die Literaturangaben S. 37). Zwei der Möglichkeiten können wir ohne größere Diskussion verabschieden, nämlich eine metasomatische Verdrängung von Kalkstein und die Imprägnation eines Eruptivgesteins. Chemismus und Mineralbestand sowie die ganze Art und Ausdehnung des Vorkommens schließen diese beiden Wege aus.

Eine dritte Art der Entstehung von Apatit-Lagerstätten wäre diejenige in Form von pegmatitartigen bis lamprophyrtartigen Gangintrusionen, wie sie in Norwegen und Kanada auftreten. Der Biotit-Apatitschiefer wurde ja auch von Krige als Gangbildung bezeichnet.

Bevor wir uns in dieser Frage auf weitere Diskussionen einlassen, dürfte es angezeigt sein, die wichtigsten Tatbestände kurz zu rekapitulieren:

1. Der Biotit-Apatitschiefer verläuft über eine Strecke von mehr als einem Kilometer vollkommen konkordant mit dem Streifengneis.
2. Die Lagen, Linsen und Schollen von Gneis im Schiefer sind in keiner Weise aus der Schieferungsrichtung abgedreht oder verschoben.
3. Mikroskopisch konnte festgestellt werden, daß sowohl sehr scharfe Grenzen zum Gneis bestehen, als auch vollkommene Durchmischung vorkommt, wobei auch verschiedene Übergänge möglich sind. Durchmischung kommt dort vor, wo nur dünne Schieferlinsen den Gneis durchsetzen, während an der Grenze größerer Schiefermassen ein plötzlicher Übergang stattfindet.
4. Der Gneis kann feine Einlagerungen von Biotit-Apatitschiefer zeigen, schnurförmig in der Schieferungsebene angeordnet, aber nie weit von der Grenze entfernt.
5. Zu Gotthardlamprophyren oder irgendwelchen andern Gotthardgesteinen besteht chemisch keinerlei Verwandtschaft. Die größte Ähnlichkeit zeigt der Chemismus mit missouritisch-alnöitischen Gesteinen, also ziemlich seltenen, basischen und kalkreichen Gesteinen der Kalireihe, wie sie weit herum nicht vorkommen.

Die ersten zwei Punkte legen deutlich klar, daß es sich unmöglich um einen Lamprophyr handeln kann, der nach der herzynischen Hauptmetamorphose, z. B. im Gefolge der oberkarbonischen Granit-

intrusionen in den Gneis eingedrungen ist (siehe darüber auch WAINDZIOK 1906, GRUBENMANN 1919, SONDER 1921). Die eigentliche Prägung des Streifengneises wird ja dieser herzynischen Metamorphose zugeschrieben, es müßten deshalb unbedingt größere Diskordanzen zu diesem bestehen und die Schollen wären nicht alle genau in der Schieferungsrichtung. Dasselbe legen auch die chemischen Daten dar, die die große Verschiedenheit zu solchen Lamprophyren zeigen, von denen einer kaum 50 m vom Biotit-Apatitschiefer entfernt, den Gneis diskordant durchsetzt. Auch die teilweise Durchmischung von Biotit-Apatitschiefer und Gneis spricht dagegen, sie tritt im Gotthardmassiv bei Lamprophyren nicht auf.

Wenn es sich also um eine Intrusion handeln würde, so muß diese kurz nach derjenigen des Streifengneis-Magmas erfolgt sein, bevor die Hauptmetamorphose einsetzte. Gibt es nun Tatsachen, die gegen eine gangartige Intrusion zu dieser Zeit sprechen? Ich glaube ja. Es ist etwas unwahrscheinlich, daß lamprophyrtartige Intrusionen nur gerade in diesem, auch vor der Metamorphose doch ziemlich schmalen Gürtel stattgefunden hätten, sonst aber nirgends im ganzen Gebiet des Streifengneises und seiner Umgebung. Es müßten verschiedene mehr oder weniger parallele Gänge gewesen sein, nur durch geringe Zwischenräume getrennt. Allerdings müssen wir uns bewußt sein, daß das Bild durch die Metamorphose stark verändert wurde. Die Differentialbewegungen mußten bei der verschiedenen Beweglichkeit von Gneis und Schiefer zu bedeutenden Umformungen führen. Es werden dabei wohl Fließvorgänge und Streckung in waagrechtlicher Richtung stattgefunden haben. Dabei konnten diskordante Einlagerungen konkordant eingeregelt werden. Trotzdem bleibt der obige Einwand bestehen, denn vollständig verschieden konnten die primären Bedingungen nicht gewesen sein.

Eine zweite Tatsache, die gegen einen Lamprophyr spricht, scheint mir auch die teilweise Durchmischung zu sein, die sonst bei Gangintrusionen nicht auftritt. Diese Durchmischung kann ich nämlich nicht nur einem Lösungsumsatz während der Metamorphose zuschreiben, da ein solcher überall gewirkt haben müßte; so scharfe Grenzen, wie wir sie vielenorts feststellen können, also nicht möglich wären. Ich schließe daraus, daß diese teilweise Durchmischung primär gewesen sein muß. Ferner sprechen gegen einen Lamprophyr die Einschaltungen von Nebengestein im Schiefer.

Es scheint also, daß zwar ein magmatisches Gestein vorliegt, aber doch keine Intrusion stattgefunden hatte. Diese Zwiespältigkeit könnte dadurch erklärt werden, daß es sich nicht um eine gangartige Intrusion handelte, sondern daß das jetzt als Biotit-Apatitschiefer vorliegende Gestein als basische Scholle außergewöhnlicher Zusammensetzung durch das Streifengneismagma von unten mitgerissen wurde. Das sie bildende Magma mußte, wie der große Biotitgehalt zeigt, sehr naß gewesen sein. Das Vorkommen von Alnöiten, deren Chemismus nicht sehr verschieden ist, zeigt, daß ein solches Magma, wahrscheinlich örtlich begrenzt, unter speziellen Umständen entstehen kann. Primäre oder sekundäre Verschiedenheit der Bedingungen können dann immer noch einen anderen Mineralbestand bewirken.

Die Kristallisation mußte bei der Platznahme im «Streifengneismagma» schon ziemlich weit fortgeschritten sein, sonst hätte ja eine intensive Durchmischung stattgefunden. Das Streifengneismagma konnte die Scholle nicht mehr auflösen. Einige Reste des basischen Magmas waren aber noch nicht vollständig kristallisiert, so daß dort eine Vermengung noch möglich war.

Natürlich wurde auch diese Scholle während der Metamorphose intensiv umgeformt, so daß ihre ehemaligen Grenzen nicht mehr zu rekonstruieren sind. Dabei wurden auch die wenigen Fremdbestandteile, die vom Gneis aufgenommen worden waren, in feinen Linsen und Bändern angeordnet.

Daß überhaupt keine Diskordanz zwischen Schieferzügen und Gneis festzustellen ist, erscheint durch die Schollenhypothese verständlich, da ja die Platzstellung gleichzeitig erfolgte und die Intrusion des Streifengneismagmas mit einem gewissen Schub verbunden war, der die Scholle mehr oder weniger einregeln konnte. Die Metamorphose besorgte das übrige.

Ich bin mir absolut bewußt, daß die angeführten Gründe für die Bildung aus einer basischen Scholle keine zwingenden Beweise sind. Solche sind wohl in diesem stark metamorphen Gebiet sehr schwer zu finden. Entstehung und Herkunft des eigenartigen Phosphatmagmas wird wohl nicht leicht zu deuten sein. Es scheint mir aber, daß durch diese Annahme manche Erscheinung besser gedeutet werden kann als durch andere Erklärungen.

III. Der Biotit-Apatitschiefer als nutzbare Phosphatlagerstätte

A. Die Vorräte

H. ZWEIFEL beurteilt auf Grund seiner Aufnahmen die Vorräte an gewinnbarem Biotit-Apatitschiefer folgendermaßen:

Da für den Abbau nur die beiden Hauptzonen in Frage kommen, lasse ich bei den Berechnungen

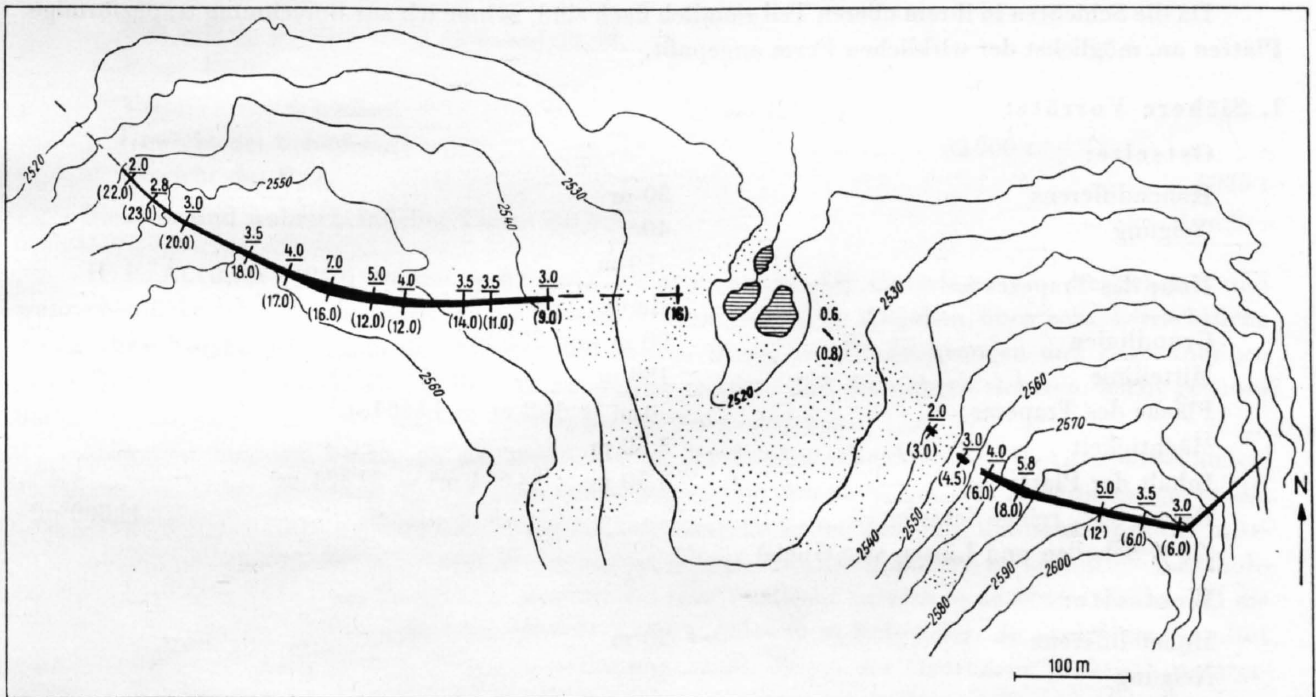


Fig. 24. Kartenskizze der Hauptzonen des Biotit-Apatitschiefers mit Eintragung der Mächtigkeiten in Meter. In Klammer: gesamte Zone; unterstrichen: reiner Biotit-Apatitschiefer.

die Nebenzonen ganz außer Betracht. Die Skizze Figur 24 gibt einen Überblick des Verlaufes und der Mächtigkeiten der Hauptzonen. Die unterstrichenen Zahlen geben die Mächtigkeit des Biotit-Apatitschiefers an, der zum Abbau in Frage kommt. Dünnere Einlagerungen im Gneis, wie sie besonders auf der Westseite auftreten, sind darin nicht inbegriffen, da ihre Gewinnung und Trennung vom Nebengestein mühsam wäre. Die Zahlen in Klammern geben die Mächtigkeit der ganzen Zone an.

Wie aus der Skizze ersichtlich ist, sind die Schieferzonen auf der Ostseite von 2545 m bis 2595 m, auf der Westseite über die ganze Erstreckung, gut verfolgbare und die Mächtigkeit in kurzen Abständen meßbar.

Die Berechnung gestaltet sich so, daß wir nach Norden einfallende Platten bestimmen, von denen wir eine durchschnittliche Mächtigkeit annehmen, wie sie aus den Oberflächenmessungen vernünftig erscheint. Ich glaube, daß es nicht übertrieben ist, wenn ich auf der Ostseite oberhalb 2545 m und auf der Westseite oberhalb 2540 m eine Dicke der Schicht von 3,50 m als Durchschnitt annehme, denn die

Oberflächenmaße sind ja fast überall größer. Zusätzlich möchte ich noch die Platte auf der Ostseite berechnen, die zwischen 2545 m und 2520 m liegt. Wir haben hier nur wenige Messungen wegen der großen Schuttmasse, 3 m wurden bei 2545 m festgestellt, 2 m bei 2540 m und 60 cm bei 2520 m. Ich nehme hier eine durchschnittliche Mächtigkeit von 1 m an. Auf der Westseite bestimme ich unterhalb 2540 m, wegen der an den Enden beobachteten starken Aufspaltung, keinen Vorrat mehr.

Unterhalb des Niveaus der Seelein möchte ich ebenfalls jegliche Vorratsberechnung unterlassen. Die Mächtigkeit nimmt gegen unten soweit der Beobachtung zugänglich, ab und ist bei 2520 m nur noch unbedeutend. Deshalb erscheint mir die Annahme von weitem Vorräten willkürlich.

Meine Berechnungen beschränken sich also auf Vorräte, die der direkten Beobachtung zugänglich sind. Diejenigen mit 1 m durchschnittlicher Mächtigkeit sind allerdings nicht mehr so sicher, da in der Mulde am Ostende die Fortsetzung unterhalb 2550 m durch Gras und Schutt verdeckt ist. Wir haben aber gegen die Seelein hin Aufschlüsse bis auf 2520 m, so daß doch Anhaltspunkte vorhanden sind. Ich möchte also unterscheiden in:

1. Sichere, gut abbaubare Vorräte.
2. Nicht in der ganzen Ausdehnung sichergestellte, wegen geringerer Mächtigkeit und größerer Tiefe mit mehr Abbauschwierigkeiten verknüpfte Vorräte.

Da die Schichten in ihrem oberen Teil ziemlich flach sind, nehme ich zur Berechnung trapezförmige Platten an, möglichst der wirklichen Form angepaßt.

1. Sichere Vorräte:

Ostseite:

Höhendifferenz 50 m

Neigung 40°

Höhe des Trapezes = $\frac{50 \text{ m}}{\sin 40^\circ} = 78 \text{ m}$

Grundlinien 90 m und 285 m

Mittellinie 188 m

Fläche des Trapezes = $78 \text{ m} \times 188 \text{ m} = 14664 \text{ m}^2$

Mächtigkeit 3,50 m

Inhalt der Platte = $3,50 \text{ m} \times 14664 \text{ m}^2 = 51324 \text{ m}^3$

Davon 80% reiner Schiefer = 41000 m³
(20% Schollen und Linsen von Gneis)

Westseite:

Höhendifferenz 20 m

Neigung 40°

Höhe des Trapezes = $\frac{20 \text{ m}}{\sin 40^\circ} = 31 \text{ m}$

Grundlinien 100 m und 370 m

Mittellinie 235 m

Fläche des Trapezes = $31 \text{ m} \times 235 \text{ m} = 7300 \text{ m}^2$

Mächtigkeit 3,50 m

Inhalt der Platte = $3,50 \text{ m} \times 7300 \text{ m}^2 = 25600 \text{ m}^3$

Davon 80% reiner Schiefer = 20500 m³

Gesamtinhalt der sicheren Vorräte 61500 m³

2. Nicht in der ganzen Ausdehnung sichergestellte, «wahrscheinliche» Vorräte:

Höhendifferenz 25 m

Neigung 40°

Höhe des Trapezes = $\frac{25 \text{ m}}{\sin 40^\circ} = 39 \text{ m}$

Grundlinien	285 m und 440 m	
Mittellinie	362 m	
Fläche des Trapezes =	$39 \text{ m} \times 362 \text{ m} = 14100 \text{ m}^2$	
Mächtigkeit	1 m	
Inhalt der Platte =	$1,0 \text{ m} \times 14100 \text{ m}^2 = 14100 \text{ m}^3$	
Davon 80% reiner Schiefer		<u>11300 m³</u>

Das Raumgewicht (γ) des Biotit-Apatitschiefers beträgt ziemlich genau 3, für diese Überslagsrechnung ist diese Zahl auf jeden Fall genau genug.

Nach den Analysen und den Schlifffausmessungen zu urteilen (S. 26/27) möchte ich den durchschnittlichen P_2O_5 -Gehalt als 9% annehmen.

1. Sichere Vorräte an P_2O_5 :

Volumen des Schiefers	61500 m ³	
Gewicht des Schiefers ($\gamma = 3$)		184500 t
Gewicht des P_2O_5 (9%)		<u>16600 t</u>

2. Nicht in der ganzen Ausdehnung sichergestellte Vorräte (auf jeden Fall erst in zweiter Linie zum Abbau in Frage kommend):

Volumen des Schiefers	11300 m ³	
Gewicht des Schiefers ($\gamma = 3$)		33900 t
Gewicht des P_2O_5		<u>3050 t</u>

Sicherer und wahrscheinlicher Vorrat an P_2O_5 19650 t

H. E. ALTHAUS (1946) kommt auf Grund etwas abweichender Unterlagen für die sicheren und wahrscheinlichen Vorräte zusammen auf 178000 t, dazu macht er Angaben über sehr beträchtliche «mögliche» Vorräte unterhalb des Niveaus der Seelein. Nach den Beobachtungen und Berechnungen beider Bearbeiter darf wohl als feststehend betrachtet werden, daß die nahezu sicheren, leicht gewinnbaren Vorräte an Biotit-Apatitschiefer 150000 bis 200000 t erreichen.

Durchaus ungewiß bleibt, ob die beobachtbare Mächtigkeitsabnahme der Biotit-Apatitschieferzonen an den tiefer gelegenen Enden tatsächlich, wie es den Anschein hat, ein Ausdünnen gegen die Tiefe bedeutet, oder ob es vielleicht mehr nur ein seitliches Auskeilen darstellt, der Schiefer in der mittleren Partie der Schollen also in größere Tiefen reichen würde. Dies könnte durch einige untiefe Kernbohrungen (vertikal oder schräg) festgestellt werden, die man vielleicht vorerst so ansetzen würde, daß die Zonen im Niveau der Seelein (2517 m) erreicht werden (35—50 m Bohrtiefe). Je nach dem Resultat wäre die Sondierung auf größere Tiefen auszudehnen. Auch die an der Oberfläche praktisch uninteressanten Nebenzonen könnten sich in der Tiefe verbessern, was durch Bohrungen zu ermitteln wäre. Die Feststellung erheblicher Apatit-Biotitschiefervorräte in größerer Tiefe erscheint durchaus möglich.

B. Abbauverhältnisse

Das Gebiet der Lagerstätte ist in normalen Jahren etwa von Ende Juli bis Mitte Oktober (mit Unterbrechung durch häufige Neuschneefälle) schneefrei, somit zweieinhalb Monate. In ungünstigen Jahren können es nur zwei Monate oder noch weniger, in schneearmen bis vier Monate sein. Die maximale Schneehöhe wird meist im April erreicht; sie kann nach Beobachtungen im benachbarten Gotthardpaßgebiet auf durchschnittlich 3—4 m geschätzt werden. Alle Zugänge sind im Winter stellenweise lawinengefährdet.

Der praktischste Zugang führt von der Leventina (SBB-Station Ambri-Piotta) her: Bis Piora auf der Seilbahn, dann dem Ritomsee entlang bis Cadagno di fuori auf einer mit Lastwagen befahrbaren Straße, bis zur Capanna Cadagno auf einem Fahrweg und von dort auf einem stellenweise steilen, schlechten Pfad (Fig. 2). Dieser überschreitet oberhalb dem Lago di dentro in der Lücke zwi-

schen Corandoni und Schenadüi (Pizzo dell'Uomo des T. A.) die Wasserscheide und führt dann an einer oberen Gruppe kleiner Seen (Lago Piatt des T. A.) vorbei über flaches, mit wenig Schutt bedecktes Gelände zur Lagerstätte (Figur 3). Von der Seilbahnstation Piora rechnet man 3 bis 3½ Stunden, von der Capanna Cadagno gut 2 Stunden.

Die nächste Bahnstation im Norden ist Disentis (Rhätische Bahn). Von Sta Maria an der Lukmanierstraße (18,5 km von Disentis) führt ein Alpweg dem Medelser Rhein entlang ins Val Cadlimo, den man oberhalb Stabbio Nuovo verläßt (ungefähr bei der Höhenkurve 2280) und dem Corandonibach entlang nach Süden ansteigend werden die Lagozze della Miniera erreicht (ca. 2½ Stunden von Sta Maria).

In etwa 1½ Stunden ist die Lagerstätte von der Cadlimohütte über den Lago dell'Isra, teilweise weglos, erreichbar, die indessen selbst 3 Stunden von Sta Maria und 5 Stunden von Airolo entfernt ist.

Für alle erheblicheren Erschließungs- oder Abbauarbeiten wäre die Anlage einer Luftseilbahn unumgänglich notwendig, wofür praktisch wohl nur die Südseite in Betracht kommt (ca. 2,6 km Luftlinie bis Cadagno di fuori, 8 km bis Ambri-Piotta über Piora).

Da das Ausstreichende der Biotit-Apatitschieferzüge von keinem oder nur wenig Schutt bedeckt ist, wäre es möglich, erhebliche Mengen an Schiefer im Tagbau zu gewinnen. Wegen der kurzen schneefreien Zeit müßte für die Ausbeutung größerer Mengen doch zum Stollenbau geschritten werden. In den Sommermonaten könnten beide Abbauarten in Anwendung gebracht werden.

Für Erschließungs- oder Abbauarbeiten würde zweckmäßig bei den Seelein zwischen den beiden Schieferzügen ein Stützpunkt geschaffen, was hier an lawinensicheren Stellen möglich ist. Als Vorrichtungsarbeiten eines bergmännischen Abbaus wären im ersten Stadium streichende Strecken im Schiefer vorzusehen, gegen Westen (westlicher Zug) etwa in 2540 m Höhe, gegen Osten (östliche Zone) in etwa 2545 m Höhe (siehe S. 34). Von diesen Strecken würden Aufhau zur Hereingewinnung des Schiefers erstellt. Trotz der hohen Standfestigkeit des Streifengneises werden im Schiefer schmale Pfeiler belassen werden müssen, da zu wenig Versatzmaterial (aus den Gneislagen im Schiefer) anfallen wird, um zur Stützung des Hangenden auszureichen. Bei der großen Mächtigkeit der Hauptschieferzonen von 3–20 m (bei 40° Fallen) dürfte ein rationeller Abbau fachmännische Kenntnisse voraussetzen. Durch das Stehenlassen von Pfeilern wird wohl mit gewissen Abbauverlusten gerechnet werden müssen. Wetterführung und Wasserhaltung (es ist in Regenperioden und zur Zeit der Schneeschmelze in dem relativ durchlässigen Schiefer mit erheblichem Wasserzufluß zu rechnen) dürften, solange sich der Abbau oberhalb der Basis-Streichstrecken befindet, keine Schwierigkeiten bieten. Sollten die Schürfungen (S. 35) abbaubaren Schiefer unterhalb des Niveaus der Seelein ergeben, so müßten andere Dispositionen getroffen werden, wohl die Anlage eines (relativ kurzen) Querschlages gegen Norden. Ein großer Querschlag gegen Süden, bzw. Südwesten, der nur auf einem wesentlich tieferen Niveau sinnvoll wäre, hätte die Erschürfung beträchtlicher Schiefermengen in größeren Tiefen zur Voraussetzung. Es wäre aber nicht leicht, in den steilen Süd- oder Westhängen des P. Corandoni eine geeignete Stelle zu finden (Fig. 2).

C. Aufbereitung und Verarbeitung

Der große Unterschied im Aussehen von Streifengneis und Biotit-Apatitschiefer ermöglicht durch eine Handscheidung vor Ort ohne Schwierigkeiten die Gewinnung eines reinen «Roherzes». Eine Verwertung des Biotit-Apatitschiefers setzt aber voraus, daß es gelingt, den Apatit aus dem Schiefer ohne hohe Verluste beträchtlich anzureichern, da bei dem niedrigen, nur 9% betragenden durchschnittlichen P_2O_5 -Gehalt des Schiefers sich sonst das notwendige Aufschließen des Apatites wirtschaftlich nicht durchführen ließe.

Es sind daher in den Jahren 1944 und 1945 auf Veranlassung des Bureaus für Bergbau und der Konzessionärin Schlamm- und Flotationsversuche durch die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) durchgeführt worden. Die folgenden Angaben sind den Berichten über diese Arbeiten entnommen (siehe S. 40).

Durch bloßes Schlämmen des gemahlten Rohgutes konnten keine wesentlichen Anreicherungen erzielt werden. Die Flotationsversuche, die in Zusammenarbeit von den Herren Dr. C. E. MOSMANN

Übersicht bekannter Apatitlagerstättentypen

Tabelle 1

Typus — Lokali- tät	Berge von Chibine, Halbinsel Kola, Ruß- land	Kiruna, Nordschwe- den	Bamle, Kragerö, Süd- norwegen	Palabora, Transvaal	Cabo de Gata, Spa- nien	Idanha-a-Nova, Mar- vao, Castelo de Vide, Portugal	Val Cadlino, Tessin
Geologische Situation	Bis 50 m mächtige, mehrere Kilometer ausgedehnte Bank bis Schliere zwischen Urtit und Nephelin- syenit	Besondere Ausbil- dung (Rektortyp) der Magnetitlager von Nordschweden	Gänge an Gabbros gebunden	Linsen im Kontakt von Shonkinit und Kalkstein	Kalireiches Erguß- gestein mit hohem Apatitgehalt (Jumil- lit)	Gänge von Graniten ausgehend	Langgestreckte, schmale (wenige Me- ter) Zonen, konkor- dant in stark meta- morphem Orthogneis
Mineralvergesell- schaftung	Apatit (Cer - Fluor- apatit), Nephelin (Ägirin, Titanit u. a.)	Magnetit, Apatit (Fluorapatit) (wei- tere, z.T. pneumatol- ytische Mineralien meist untergeordnet)	Apatit (Chlorapatit), Ängit, Hornblende, Skapolith (Rutil, Il- menit u. a.)	Apatit, Pyroxen, Phlogopit u. a.	Sanidin, Olivin, Bio- tit, Apatit (Pyroxen, Hornblende, Leuzit)	Fluorapatit, Quarz (Feldspäte, Glimmer, u. a.)	Biotit, Fluorapatit (Quarz, Titanit, Feld- späte)
Entstehung	Liquidmagmatisch- intrusiv	Liquidmagmatisch mit erheblichem pneumatolytischem Einschlag	Pneumatolytische, pegmatitartige Bil- dungen	Pneumatolytische Metasomatose von Kalkstein	Apatitimpregnation vermutlich epigene- tisch (Fumarolentä- tigkeit)	Hydrothermale Gangbildungen	Primär P-reiche ba- sische Scholle als Aus- scheidung in Granit. Mit diesem wohl vor- herzynisch metamor- phisiert, herzynisch und alpin disloziert
Bemerkungen	Größte bekannte Apatitlagerstätte. Apatitgehalt 50 bis 80%	P ₂ O ₅ -Gehalte (G- Erze) maximal bis 10%. Nur bei Ver- hüttung als Eisenerz im Thomasverfahren nutzbar	Schr zahlreiche Gänge, im einzelnen sehr wechselnd	Oft fast reiner Apa- titfels	Gehalte an Apatit 7—30%	—	Gehalt an P ₂ O ₅ meist 7—12% (17—24% Apatit)
Verwandte Vor- kommen	Nicht bekannt	Grängesberg (Mittel- schweden) Adirondacks (USA) Singbhum (Indien) Bukusu (Uganda)	Nordschweden Kingston, Ontario	Provinz Kiangsu, China	—	Estremadura, Spa- nien	Nicht bekannt
Literatur	SCHNEIDERHÖHN (1941) mit Lit.-An- gaben O. STUTZER (1932)	SCHNEIDERHÖHN (1941) P. GELLER u. N. MAGNUSSON (1944) K. A. DAVIES (1947)	O. STUTZER (1932)	O. STUTZER (1932)	O. STUTZER (1932)	J. M. COTELO NEIVA u. a. (1953) O. STUTZER (1932)	Abschnitte I und II

und Dr. P. ESENWEIN (EMPA, Zürich) ausgeführt wurden, kamen dagegen zu recht befriedigenden Ergebnissen. Da die einzelnen Mineralbestandteile des ziemlich weichen Schiefers gegenseitig nur schwach verbunden sind, zerfällt das Gestein durch relativ schwaches Zerstoßen in seine 0,1–0,6 mm großen Komponenten, ohne daß viel des in der Flotation hinderlichen Staubes anfällt. So konnte durch Brechen im Backenbrecher, trockene Absiebung im vibrierenden 0,6-mm-Maschensieb und Zerkleinerung des Siebrückstandes in einer Universalschlagmühle der Firma U. Ammann & Co. in Langenthal die gewünschte Kornfraktion bei nur 12 % Anteil unter 0,1 mm erhalten werden. Sowohl in der kleinen Laboratoriumszelle von 4 l Inhalt, als in der Zelle von industriellen Dimensionen, die das Bureau für Bergbau zur Verfügung gestellt hatte, sind nach zahlreichen Versuchen in zwei- oder dreistufiger Flotation Konzentrate mit 55–65 % Apatit (23–27 % P_2O_5) bei einem Ausbringen von 80–90 % erhalten worden. Als Chemikalien wurden Ölsäure und Soda für die erste, Na-Wasserglas für die zweite (und evtl. dritte Flotation verwendet. Der Chemikalienverbrauch war gering (3 g Ölsäure, 0,2 g Soda und 3 g Wasserglas pro Kilogramm Rohgut), so daß die Flotationskosten in mäßigen Grenzen bleiben würden.

Damit könnten zur weiteren Verarbeitung Konzentrate mit einem P_2O_5 -Gehalt von durchschnittlich 25 % (60 % Apatit) zur Verfügung gestellt werden, die in bezug auf P_2O_5 -Gehalt eingeführten Rohphosphaten aus Tunis ungefähr entsprechen würden. Vermutlich dürften weitere Versuche und Betriebserfahrungen zu noch besseren Aufbereitungsergebnissen führen. Der auch nach der Aufbereitung immer noch relativ hohe Gehalt an R_2O_3 wird allerdings für die praktische Verwertung nachteilig beurteilt.

D. Verwertung der Flotationsabgänge

Die Flotationsabgänge bestehen zu ca. 60 % aus Biotit mit ca. 9 % K_2O . Demnach kann mit einem Kaligehalt von ca. 6–7 % in den Abgängen gerechnet werden.

Bei Vegetationsversuchen, welche die Agrikulturchemische Anstalt Liebefeld/Bern im Jahre 1943 mit einem gemahlenen Biotitschiefer von Naters mit 3,05 % salzsäurelöslichem Kali durchgeführt hatte, wurde eine Düngwirkung von 85 % derjenigen gleicher Mengen 40 % igen Kalisalzes erreicht.

Es darf also angenommen werden, daß den Flotationsabgängen ein gewisser Wert als Kalidünger zukommt. Außerdem sind die Sicker-Verluste bei einer Düngung mit langsam sich lösendem Biotitkali geringer oder praktisch null gegenüber einer Düngung mit dem leichtlöslichen Düngkali, so daß während einiger Jahre eine gewisse Reserve im Boden vorhanden bleibt. Günstig könnte sich auch eine gewisse Auflockerung des Bodens durch den Biotitsand auswirken. Dagegen wären natürlich relativ große Mengen der niedrigprozentigen Flotationsabgänge auf die Felder zu bringen, was gegenüber hochprozentigen Kalisalzen wesentlich höhere Transport- und Verteilungskosten mit sich brächte. Die Flotationsabgänge könnten deshalb als Vorratsdüngung in Betracht kommen, wobei sie allerdings nicht mit hohen Transportkosten belastet werden dürften.

E. Vergleich mit nutzbaren Apatitlagerstätten

Verwertbare Vorkommen mit dem Mineral Apatit in grobkristalliner Form sind viel seltener als Vorkommen mit feinkristallinen Ca-Phosphaten mit zahlreichen Spezialnamen (Phosphorit, Kollophanit u. a.), die man in neuerer Zeit nach ihrer Struktur größtenteils ebenfalls in die Apatitgruppe einreicht (siehe auch D. MCCONNELL 1950, TH. GEIGER 1950). Nur die ersteren benennt man in der Lagerstättenkunde als Apatitlagerstätten.

Während die feinkristallinen Phosphatvorkommen zum weitaus größten Teil sedimentärer Entstehung sind, gehören die Apatitlagerstätten soweit bis jetzt bekannt ganz den endogenen Mineralbildungen, hier jedoch recht verschiedenen Typen an. Die Hauptmerkmale einiger bekannter Vorkommen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt zum Vergleich mit dem Biotit-Apatitschiefer des Val Cadlimo.

Literaturverzeichnis

- H. E. ALTHAUS (1947): Über die Abbauwürdigkeit der schweizerischen Lagerstätten natürlicher Phosphate. Landw. Jahrbuch der Schweiz 61.
- E. AMBÜHL (1929): Petrographie und Geologie des zentralen Gotthardmassivs südlich Andermatt. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 9.
- C. BURRI, J. JAKOB, R. L. PARKER, H. STRUNZ (1935): Untersuchungen an Hydroxylapatiten der Kemmlen. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 15.
- C. BURRI und P. NIGGLI (1949): Die jungen Eruptivgesteine des mediterranen Orogens. Zweiter Hauptteil: Der Chemismus der postophiolithischen Eruptivgesteine. Guggenbühl & Huber, Schweizer Spiegel Verlag, Zürich.
- J. CADISCH (1953): Geologie der Schweizeralpen. Wepf & Co., Basel.
- J. M. COTELO NEIVA, N. M. QUEIROZ, F. L. FARIA (1953): Géologie et genèse des gisements portugais d'apatite. C. R. Congrès Géol. Internat. Alger, fasc. XI.
- K. A. DAVIES (1947): The Phosphate Deposits of the Eastern Province, Uganda. Economic Geology 42.
- R. EICHENBERGER (1924): Geologisch-petrographische Untersuchungen am Südwestrand des Gotthardmassivs. Eclogae geol. Helv. 18.
- W. EPPRECHT und R. L. PARKER (1951): Röntgenographische und spektroskopische Untersuchungen an schweizerischen Hydroxylapatiten. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 31.
- TH. GEIGER (1950): Kennzeichnung einer Reihe technisch verwendeter Rohphosphate und deren Verhalten bei thermischer Behandlung. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 30.
- P. GEIJER und NILS H. MAGNUSSON (1944): De mellansvenska järnmalmernas geologi. Sveriges geologiska undersökning. Ser. Ca, No. 35.
- U. GRUBENMANN (1919): Lamprophyrische Ganggesteine im zentralen Gotthardgranitgneis aus der Umgebung des St. Gotthardhospizes. Vierteljahresschrift Natf. Ges. Zürich 64.
- U. GRUBENMANN und P. NIGGLI (1924): Die Gesteinsmetamorphose. Verlag Borntraeger, Berlin.
- L. HEZNER (1909): Petrographische Untersuchungen der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthards. Neues Jahrb. f. Mineral. Beilage-Band 27.
- H. M. HUBER (1943): Physiographie und Genesis der Gesteine im südöstlichen Gotthardmassiv. Mit geologischer Kartenskizze 1: 25 000. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 23.
- J. JAKOB und C. M. KOOMANS (1933): Über einen Biotit-Apatitschiefer des Val Cadlimo (Kanton Tessin). Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 13.
- L. J. KRIGE (1918): Petrographische Untersuchungen im Val Piora und Umgebung. Eclogae geol. Helv. 14. Mit geolog. Karte 1:50 000.
- DUNCAN MCCONNELL (1950): The Petrography of Rock Phosphates. Journal of Geology.
- R. L. MITCHELL (1948): The spectrographic analysis of soils, plants and related materials. Commonwealth Bureau of Soil Science, Techn. Comm. Nr. 44 Harpenden, England.
- E. NIGGLI (1944): Das westliche Tavetscher Zwischenmassiv und der angrenzende Rand des Gotthardmassivs. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 24.
- P. NIGGLI (1923): Gesteins- und Mineralprovinzen. Verlag Borntraeger, Berlin.
- P. NIGGLI (1934): Das Gotthardmassiv. Mit einer geologischen Kartenskizze des Gotthard-Massivs. Geologischer Führer der Schweiz. Fasz. II.
- P. NIGGLI (1935): Zur mineralogischen Klassifikation der Eruptivgesteine. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 15.
- P. NIGGLI (1936a): Über Molekularnormen zur Gesteinsberechnung. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 16.
- P. NIGGLI (1936b): Die Magmentypen. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 16.
- P. NIGGLI (1948): Gesteine und Minerallagerstätten I. Birkhäuser, Basel.
- P. NIGGLI, F. DE QUERVAIN, R. U. WINTERHALTER (1930): Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie 14.
- H. PREISWERK, L. BOSSARD, O. GRÜTTER, P. NIGGLI, E. KÜNDIG, E. AMBÜHL (1934): Geologische Karte der Tessiner-alpen zwischen Maggia- und Blenio-Tal 1:50 000. Geologische Spezialkarte 116.
- F. DE QUERVAIN und M. GSCHWIND (1949): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 2. Auflage. Kümmerly & Frey, Bern.
- F. DE QUERVAIN und E. KÜNDIG (1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz. 2. Ausgabe. Kümmerly & Frey, Bern.

- C. SCHMIDT (1920): Texte explicatif de la Carte des Gisements des matières premières minérales de la Suisse. Commission géotechnique.
- R. SONDER (1921): Untersuchungen über den Differentiationsverlauf der spätpaläozoischen Granitintrusionen im zentralen und westlichen Gotthardmassiv. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 1.
- O. STUTZER (1932): Die wichtigsten Lagerstätten der «Nicht-Erze». Phosphat — Nitrat. Verlag Borntraeger, Berlin.
- P. WAINZIOK (1906): Petrographische Untersuchungen an Gneisen des St. Gotthard. Diss. Univ. Zürich.
- H. S. WASHINGTON (1917): Chemical Analysis of Igneous Rocks. United States Geological Survey, Professional Paper 99.
- E. WENK (1936): Zur Genese der Bändergneise von Ornö Huvud. Bull. of the Geological Institution of the University of Upsala 26.
- R. U. WINTERHALTER (1930): Zur Petrographie und Geologie des östlichen Gotthardmassivs. Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 10.

Berichte des Bureau für Bergbau

- H. E. ALTHAUS (1946): Bericht über die Apatit-Glimmerschiefer im Cadlimo-Gebiet. Bericht 4089. Mit Übersichtsplan.
- E. AMBÜHL (1943): Der Corandonit (Biotit-Apatit-Gestein) im Val Cadlimo im zentral-östlichen Gotthardmassiv. Bericht 4086.
- Eidg. Materialprüfungsanstalt (1944, 1946): Berichte über Schlamm- und Flotationsversuche. Berichte 4088a, 4088d/e.
- LONZA AG. (1943): Bericht betreffend Aufschluß von Phosphaten belgischer bzw. schweiz. Provenienz. Bericht 4085.
- C. E. MOSMANN (1945): Berichte über Flotationsversuche mit Apatitschiefer aus Val Cadlimo. Bericht 4088b/c.

Anhang

Übersicht über die untersuchten sedimentären Phosphatvorkommen der Schweiz

Zusammengestellt von F. de Quervain

Die folgende tabellarische Darstellung, ergänzt durch einige Figuren und eine Literaturübersicht, soll nur einen kurzen Überblick über näher bekannte Vorkommen phosphatreicher Sedimente des Juras und der Kalkalpen geben. Selbstverständlich sind noch viele weitere Aufschlüsse in geringfügig phosphathaltigen Schichten oder ganz lokale, z. T. auch höherprozentige Vorkommen, wie Knochenbreccien, Bonebeds, Höhlenlehme, bekannt, die hier nicht berücksichtigt sind (siehe auch E. TRUNINGER 1919). Unter den aufgeführten Vorkommen sind, abgesehen von dem Sonderfall des Fricktaler Eisenoolithes, diejenigen des Gaults im Rheintal und besonders des Untereozäns südlich Einsiedeln weitaus die bedeutendsten, aber auch ihnen kommt unter den heutigen Umständen nur wissenschaftliches Interesse zu. Für alles Nähere muß auf die Literatur verwiesen werden.

Tabelle 2. Übersicht phosphatreicherer Sedimente der romanischen Kalkalpen

Untersuchte Lokalität	Langeneckgrat (Stockhorngebiet) (BE)	Gorge du Pissot bei Villeneuve (VD)	Leysin (VD)	Pierre à Perret bei Vionnaz (VS)
Geologische Situation	Sinémurien (Mittl. Lias)	Mittlerer Lias	Oberster Malm (Couches à Brachiopodes)	Basis der Couches Rouges (Obere Kreide)
Auftreten im Gestein	Phosphatknochen in glaukonitisch sandigen Mergeln	Phosphatknochen in spätigem Kalkstein	Phosphoritknochen in Kalkstein	Phosphoritkongregationen in pyritreichem, kieseligem Mergelkalk
Mächtigkeit	bis 0,4 m	—	Gering	0—0,3 m
P ₂ O ₅ -Gehalt				
Phosphateinschlüsse	bis 25,9% *	18% *	12,5—20,9%	15—23%
Ganze Schicht	—	—	—	—
Ausdehnung	—	—	—	—
Relativ günstig abbaubare Menge (Schätzungen)	Keine	Keine	—	—
Analoge Vorkommen	im gleichen Horizont. Im Stockhorngebiet, zB. bei Blumenstein	Nicht untersucht	In der Umgebung der Antiklinale der Tour d'Ar	Steinbruch von Roche, Umgebung von Corbeyrier
Bemerkungen	—	—	—	Gestein hart und zähe
Literatur	E. TRUNINGER (1919) P. BECK u. E. GERBER (1920)	A. JEANNET (1912/18) E. TRUNINGER (1919)	A. JEANNET (1912/18) E. TRUNINGER (1919)	A. JEANNET in ALB. HEIM (1921/22) E. TRUNINGER (1919)

* = Analyse von Einzelprobe.

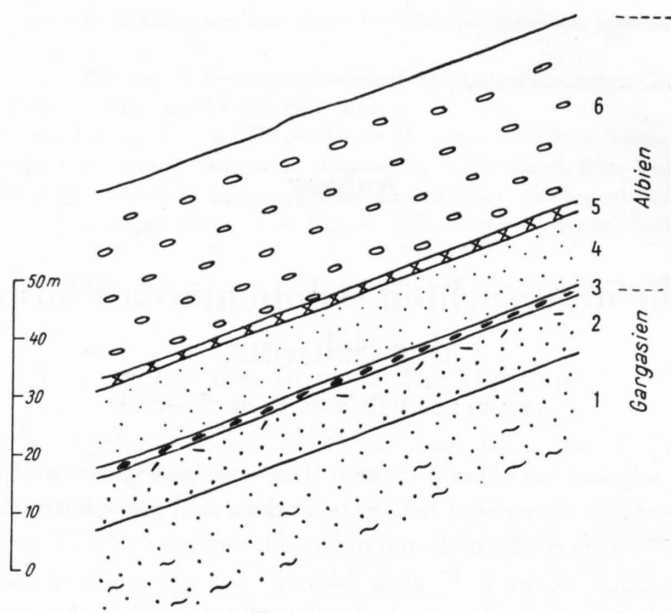


Fig. 25. Detailprofil der phosphatführenden Schichten im Gault der Umgebung von Buchs. 1 Gamserschichten, 2 Brisisandstein, 3 Durchschlägi-Phosphatschicht, 4 Niederisandstein, 5 Lochwald-Phosphatschicht, 6 Knollenschichten. Nach ARN. HEIM (1910/13).

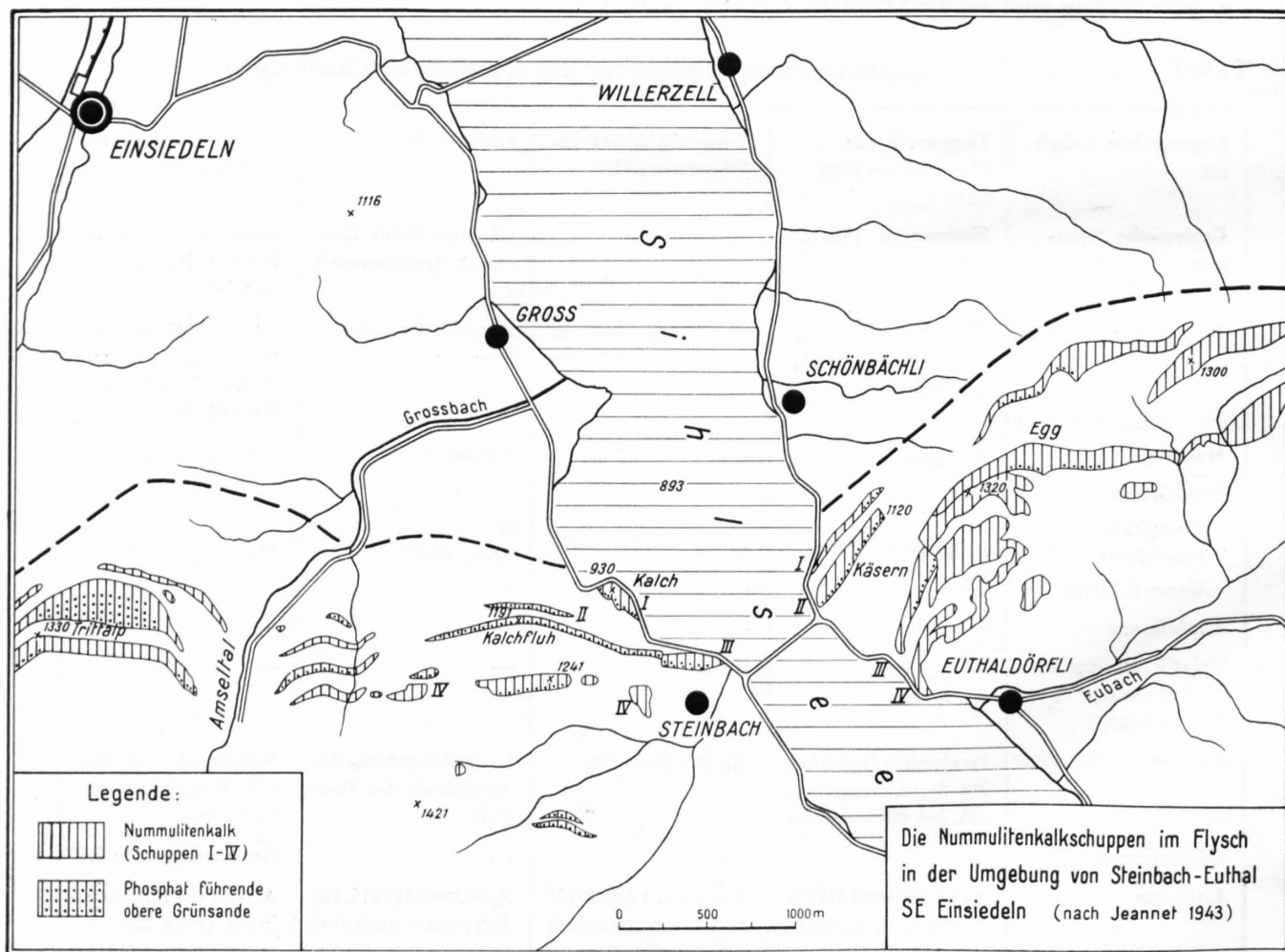


Fig. 26. Übersicht der Phosphatvorkommen im Sihlgebiet. Die dicke unterbrochene Linie bezeichnet den Verlauf der Aufschiebung des Flysches gegen Norden auf die subalpine Molasse.

Tabelle 3. Übersicht phosphatreicherer Sedimente der helvetischen Kalkalpen

Untersuchte Lokalität	Werdenberg — Buchs — Rans (SG) Zahlreiche Lokalitäten	Giswil, Unter Aa (OW)	Steinbach — Euthal (SZ) (Kalch, Steinbach, Käsern)
Geologische Situation	Albien (Gault, Mittlere Kreide), Durchschlägi- (D) und Lochwaldschicht (L). Profil Fig. 25	Albien (Gault), Lochwaldschicht	Untereozäne Nummulitenkalke mit Grünsandhorizonten. Schuppen im Flysch. Profil Fig. 27
Auftreten im Gestein	Phosphoritknollen in Glaukonitsandstein	Glaukonit-Kalksandstein mit Phosphoritknollen	Phosphoritkörner und Knollen in kalkigen Sandsteinen mit Glaukonit
Mächtigkeit	D: 0,4—1,4 m (2,4 m) L: 0,3—0,8 m (1,6 m)	0,3—0,5 m	Oberer Grünsand 0,8—1,5 m
P ₂ O ₅ -Gehalt			
Phosphateinschlüsse	17,5—19,1%	11,8%, 17,5%	—
Ganze Schicht	D: 4,5% L: um 6%	—	4,85% (siehe auch Fig. 27)
Ausdehnung	SW Buchs sehr groß	Nicht bekannt	Sehr ausgedehnt (Fig. 26)
Relativ günstig abbau- bare Menge (Schätzun- gen)	Rans 6150 T. Gampion 4100 T. Ähnlich bei Altendorf, Buchs, Werdenberg	Gering	Kalch 8000 T. Steinbach 875 000 T. Käsern 515 000 T.
Analoge Vorkommen	Vereinzelt im Gault der Säntis- decke erwähnt. Ungünstiger als Rheintal	Dallenwil	Viele Nummulitenkalke mit phosphathaltigen Grünsanden zwischen Lowerzersee und Wä- gital
Bemerkungen	Gestein hart und zäh. Durch Handscheidung auf 9—11,5% P ₂ O ₅ anzureichern	—	Gestein hart. Phosphat zT. als Kollophanitkörner. Größere Mengen nur im Stollenbau ge- winnbar.
Literatur	A. HEIM (1910/13, 1917) E. TRUNINGER (1919) A. HEIM u. O. SEITZ (1934) H. ALTHAUS (1947)	A. HEIM und H. HIRSCHI (1942)	TH. DELMAR (1890) A. JEANNET, W. LEUPOLD, P. D. BUCK (1932/35) A. JEANNET (1938/40, 1943) L. DÉVERIN (1944) H. ALTHAUS (1947)

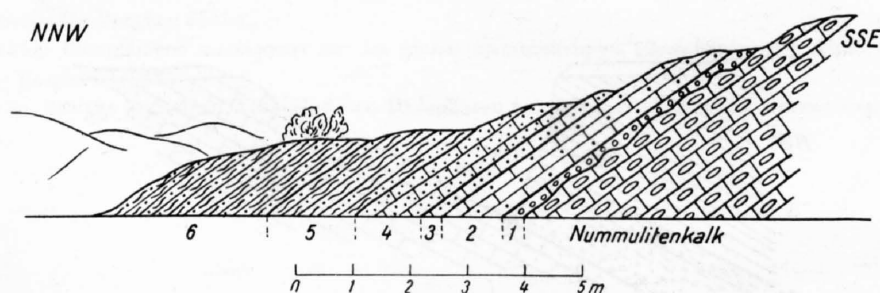


Fig. 27. Detailprofil durch den obren Grünsand am Kalch, 750 m NW der Mündung des Steinbaches in den Sihlsee. 1 (transgredierend auf Nummulitenkalk) Sandkalk mit Phosphoritknollen, P₂O₅-Gehalt 8,39%; 2 kalkiger Sandstein, weiß gesprenkelt durch «Kollophanit», P₂O₅-Gehalt 5,51%; 3 blaugrüner Sandstein, P₂O₅-Gehalt 3,85%; 4 dickbankige, kalkige Grünsandsteine, P₂O₅-Gehalt 3,23%; 5 dasselbe Gestein, jedoch dünnbankiger und mergeliger, P₂O₅-Gehalt 0,75%; 6 dasselbe Gestein, stark mergelig, P₂O₅-Gehalt 0,79%. Nach A. JEANNET (1943).

Tabelle 4. Übersicht phosphatreicherer Sedimente des Jura gebirges

Untersuchte Lokalität	Kalm W Schinznach-Dorf (AG)	Herznach, Fricktal (AG)	Auberson — La Chaux bei Ste-Croix (VD)
Geologische Situation	Mittlerer Lias Profil Fig. 28	Callovien, Anceps-Athleta-schicht	Albien (Mittlere Kreide) Profil Fig. 29
Auftreten im Gestein	Kleine Knollen in Mergeln	Eisenoolith, P-haltig	Knollen von Phosphorit (10%) in weichen Sandsteinen und Tonen
Mächtigkeit	Um 1 m	2—6 m	Um 1 m
P ₂ O ₅ -Gehalt	—	—	12—20%
Phosphateinschlüsse	—	—	1—2%
Ganze Schicht	2,86%* 5,84%*	Um 1,2%	—
Ausdehnung	Ausbiß ca. 300 m	5,6 km ² abbauwürdige Flözfläche	Mulde 3 km lang und 1,5 km breit
Relativ günstig abbaubare Menge (Schätzungen)	2250 T.	70 000 000 T.	Einige 1000 T. im Tagbau
Analoge Vorkommen	Bei SBB-Station Schinznach-Dorf	Erlinsbach, Randen u. a.	Val de Travers (Asphaltmine)
Bemerkungen	—	Eisenerz! P ₂ O ₅ -Gehalt wäre nur bei Verarbeitung im Thomasverfahren nutzbar zu machen	Aufbereitung mühsam durch Waschen (Verluste)
Literatur	H. ALTHAUS (1947)	H. FEHLMANN und F. DE QUERVAIN (1952)	TH. RITTENER (1902) H. ALTHAUS (1947)

* = Analyse von Einzelprobe

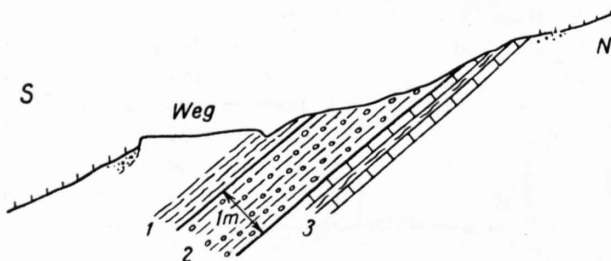


Fig. 28. Detailprofil durch den Lias am Kalm bei Schinznach-Dorf. 1 braune, sandige, schwach bituminöse Schiefer mit einzelnen Stinkkalkbänken. Posidonienschiefer des Oberen Lias; 2 Mergel mit Knollen und Belemniten, phosphathaltig; 3 Wechsel von Kalken und Mergeln, mit Gryphäen. Nach H. E. ALTHAUS (1947).

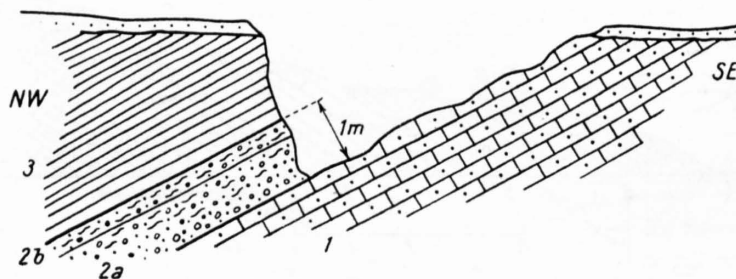


Fig. 29. Detailprofil durch den Gault bei Auberson-La Chaux. 1 Aptien: Kalksandsteine mit Schalentrümmern; 2 Unteres Albien: weiche Sandsteine, unten tonfrei, gegen oben toniger werdend. Mit unregelmäßig verteilten Phosphoritknollen; 2b sandige Tone mit sehr kleinen Phosphoritknollen; 3 Mittleres Albien: plastische Tone bis 10 m mächtig. Nach A. FALCONNIER (1943).

Literaturverzeichnis zum Anhang

- H. E. ALTHAUS (1947): Über die Abbauwürdigkeit schweizerischer Phosphatlagerstätten. Landw. Jahrbuch der Schweiz.
- P. BECK und E. GERBER (1920): Geologische Karte Thun-Stockhorn 1:25 000. Spez.-Karte Nr. 96.
- TH. DELMAR (1890): Das Phosphoritlager von Steinbach und allgemeine Gesichtspunkte über Phosphorite. Diss. Univ. Zürich.
- H. FEHLMANN und F. DE QUERVAIN (1952): Eisenerze und Eisenerzeugung in der Schweiz. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lief. 13/8.
- ALB. HEIM (1921/22): Geologie der Schweiz, Bd. 2. Verlag Tauchnitz, Leipzig.
- ARN. HEIM (1910/13): Monographie der Churfürsten-Mattstockgruppe. Erster und Zweiter Teil. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz. Neue Folge, 20. Lief.
- ARN. HEIM (1917): Geologische Karte der Alviergruppe 1:25 000. Spez.-Karte Nr. 80.
- ARN. HEIM und OTTO SEITZ (1934): Die mittlere Kreide in den helvetischen Alpen beiderseits des Rheins. Denkschriften Schweiz. Natf. Ges.
- A. JEANNET (1912): Carte géologique des Tours d'AI 1:25 000. Carte spéc. No. 68.
- A. JEANNET (1912/18): Monographie géologique des Tours d'AI et des régions avoisinantes (Préalpes vaudoises). Matériaux Carte géol. de la Suisse, Ire et IIe partie, N. S. Livr. 34.
- A. JEANNET, W. LEUPOLD und P. DAMIAN BUCK (1932/35): Stratigraphische Profile des Nummulitikums von Einsiedeln-Iberg. Berichte der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
- A. JEANNET (1938/40): Geologie der obern Sihltaler-Alpen. Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft.
- F. DE QUERVAIN und C. FRIEDLAENDER (1942): 1. Nachtrag zu Chemismus schweizerischer Gesteine. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lief. 20.
- TH. RITTENER (1902a): Etude géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Ste-Croix-Baulmes. Matériaux Carte géol. de la Suisse. Livr. 13.
- TH. RITTENER (1902b): Carte géologique de la Côte-aux-Fées et des environs de Ste-Croix et Baulmes. 1:25 000. Carte spéc. No. 30.
- E. TRUNINGER (1919): Über das Vorkommen natürlicher Phosphate in der Schweiz und deren Verwendung zu landwirtschaftlichen Zwecken. Landw. Jahrbuch der Schweiz 30.

Berichte des Bureaus für Bergbau

- L. DÉVERIN (1944): Rapport sur l'examen micrographique de roches phosphatées de Kalch et de Steinbach près de Unter-Iberg (Ct. de Schwyz). Bericht Bureau für Bergbau 4103 c.
- A. FALCONNIER und DUNANT (1943): Phosphates de l'Auberson. Bericht Bureau für Bergbau 4102.
- A. HEIM und H. HIRSCHI (1942): Über das Phosphorit-Vorkommen nördlich vom Lungernsee (Kt. Obwalden). Bericht Bureau für Bergbau 4082.
- A. JEANNET (1943a): Les roches nummulitiques phosphatées des Alpes de Schwyz entre le Wäggital et le Lac de Lowerz. Bericht Bureau für Bergbau 4103 a.
- A. JEANNET (1943b): Complément au rapport sur les roches nummulitiques phosphatées des Alpes de Schwyz. Bericht Bureau für Bergbau 4103 b.
- LONZA A.G. (1943): Bericht betreffend Aufschluß von Phosphaten belgischer bzw. schweiz. Provenienz. Bericht Bureau für Bergbau 4085.

Legende

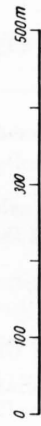
Quartär

- Alluvialböden
- Seen
- Gehängeschutt
- Blockschutt, Bergsturz
- Moräne mit Wall

Kristalline Gesteine (z.T. mit wenig Schutt bedeckt)

- Streifengneis
- Biotit-Apatitschiefer
- Glimmerplagioklasgneis
- Opthalmischer Glimmerplagioklasgneis
- Granatplagioklasgneis
- Granatglimmerschiefer
- Amphibolit, Hornblendegarnschiefer, Hornblendepagioklasgneis
- Hornblendefels

* Schürfungen auf Bleiglanz



Tafel II.

Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotechn. Serie, Lief. 32.

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landes-topographie vom 22. April 1954.

