

## 9. Über einige Erzlagerstätten der Atacamawüste

von

Otto Nordenskjöld.

---

### I.

Dem Auftreten und der Petrographie der grossartigen Erzlagerstätten der Atacamawüste in Chile wurde bisher verhältnismässig wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Während eines Aufenthalts in Chile im antarktischen Winter 1896 konnte ich in den Monaten August und September etwa 6 Wochen dem Studium einer Reihe von den interessantesten Erzlagerstätten der Provinzen Coquimbo und Atacama widmen. Die Zeit war leider viel zu knapp, um genaue Untersuchungen zu ermöglichen, aber ich werde trotzdem im folgenden versuchen, die gewonnenen Resultate kurz darzustellen. Zuerst werde ich, ohne irgend eine bestimmte Ordnung zu befolgen, die interessantesten von den besuchten Minen kurz beschreiben<sup>1</sup>; um nachher ihre gegenseitigen Beziehungen und die allgemeinen Ergebnisse näher zu besprechen.

Schon hier möchte ich die Gelegenheit benutzen, allen denen, welche meine Arbeit gefördert haben, meinen besten Dank auszusprechen. Die chilenische Regierung sowie der Intendent von Coquimbo und der Gouverneur von Ovalle haben alles gethan, um mir die Arbeit zu erleichtern. Eine sehr interessante Reise nach den Minendistrikten Condoriaco und Arqueros machte ich in Begleitung des Herrn MANUEL GALLARDO GONZALES. Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn CARLOS SANTA MARIA in Copiapó, der mich aufs liebenswürdigste empfing, auf mehreren Reisen begleitete und mir seinen grossen Einfluss durch Empfehlungen und durch Besorgung der Transportmittel zur Verfügung stellte. Aber auch sonst wurde mir auf der Reise ein Entgegenkommen zu Teil, wie man es nur in Chile findet.

---

<sup>1</sup> Im ganzen etwa 10–12 Gold-, Silber- und Kupferminen, von denen diese erste Mitteilung zwei behandelt.

### 1. Kupfermine von Amolanas.

(Prov. Atacama. Breite etwa 28° S<sup>1</sup>.)

Die Kupfermine von Amolanas gehört zwar nicht durch ihre Erzeugung, aber um so mehr durch ihre geologische Struktur zu den merkwürdigsten Erzlagerstätten Chiles. Es werden gegenwärtig im ganzen jährlich etwa 20,000 Tonnen Erz mit einem durchschnittlichen Gehalt von 5 0/0 Kupfer gewonnen, ein Gehalt, der aber durch einen einfachen Waschungsprozess auf 25 0/0 angereichert wird. Nur der Mangel an Wasserkraft und die weite Entfernung von der Eisenbahn stehen vorläufig einem raschen Aufschwung im Wege, denn Erz von dem erwähnten Gehalt ist in sehr grosser Menge vorhanden.

Die Geologie des Erzvorkommens geht aus dem umstehenden Querprofil hervor.

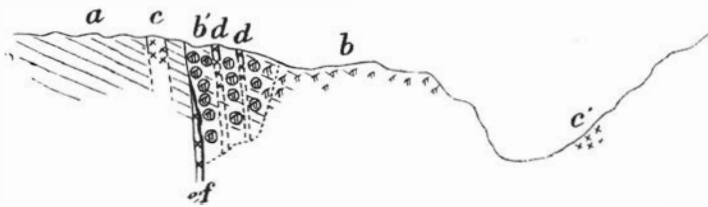


Fig. 1. Querprofil von Amolanas.

NO von der Mine liegen mächtige, rote, ziemlich fossilienarme Sandsteine von liasischem Alter (*a*). Im SW treten dagegen mächtige Bänke Augitporphyrit (*c*) von sehr wechselndem Aussehen auf<sup>2</sup>. Zwischen den beiden liegt ein etwa 100 m. mächtiger Gang (vielleicht von etwas linsenförmiger Gestalt) von einem quarzporphyrischen Gestein (*b*). Der Kontakt gegen den Sandstein verläuft ziemlich vertikal. An diesem Kontakt enthält der Porphyr bis zu einer Mächtigkeit von 25—30 m. zahlreiche rundliche, gewöhnlich etwa nussgrosse, selten bis zu etwa 0,5 dm. lange, einschlussähnliche Partien von Kupferglanz, häufig mehrere mit einander verwachsen und zuweilen lappig ausgezogen (*b'*). Nur selten finden sich eingesprengte Individuen desselben Minerals; niemals tritt es als Gänge oder Adern, bezw. an Sprünge oder Kontaktlinien gebunden auf.

<sup>1</sup> Die Lage der Minen von Amolanas und Los Bodos findet sich auf dem Querprofil des Westabhanges der Cordillere von Copiapó in *Berghaus*: Physikalischer Atlas, Geologie, Blatt Südamerika, wieder, wo auch die allgemeine geologische Struktur der Gegend studirt werden kann.

<sup>2</sup> Es sind diese mesozoischen Augitporphyrite, an welche die meisten von den nordchilenischen Kupfer- und Silbererzlagerstätten gebunden sind. Verschiedene Varietäten sollen im folgenden beschrieben werden.

Die meisten Erzlagerstätten, wo Kupferglanz auftritt, enthalten statt desselben auf grösserer Tiefe Kupferkies. Da Amolanas nur eine Tiefe von etwa 100 m. besitzt, kann man vorläufig nicht entscheiden, wie es sich in dieser Hinsicht verhält. Bisher wurde aber ausser Kupferglanz nur Malachit gefunden, der in den obersten Teilen das Gestein imprägniert. — Das helle oder durch diesen Malachit grüne Gestein mit seinen metallschwarzen Flecken besitzt ein sonderbares Aussehen, welches dadurch noch mehr erhöht wird, das die Fleckchen häufig von einer roten Rinde (aus Cuprit?) umgeben sind.

In dem Sandstein kommt nahe am Kontakt ein Gang von rölichem Augitporphyrit (Melaphyr) vor (*c*). Bedeutend interessanter sind einige Gänge — 2 oder vielleicht 3 an der Zahl — von einem dichten, grünen, diabasähnlichen Gestein, die in der Grube den erzführenden Porphyrr durchsetzen (*d*, *d'*). Kupfer enthalten sie nur in Form einer unbedeutenden Malachit-imprägnation, und ich konnte keine Anreicherung des Erzes in ihrer Nähe beobachten, aber immerhin muss man mit der Möglichkeit rechnen, dass sie zu der Entstehung des Erzes in Beziehung stehen.

Merkwürdig ist auch eine Breccie, die unten in der Grube auf verschiedenen Niveaus gerade am Kontakt zwischen dem Sandstein und dem erzführenden Porphyrr angetroffen worden ist (*c'*, *f*). Da die Zwischenmasse aus Augitporphyrit und die abgerundeten »Einschlüsse« aus verschiedenen Varietäten desselben Gesteins bestehen, muss man sie als ein Eruptivkonglomerat auffassen, das aber zum grossen Teil als Reibungsbreccie ausgebildet ist.

Der erzführende Porphyrr ist im frischen Zustande ein vollkommen dichtes, hellgraues Gestein mit wenig zahlreichen Einsprenglingen, die fast alle aus Quarz bestehen. Dieser zeigt sehr gewöhnlich magmatische Einbuchtungen. Zuweilen finden sich Splitter desselben Minerals oder Individuen, die nach Aussen eine unbestimmte Begrenzung zeigen und durch zahlreiche Einschlüsse von der Substanz der Grundmasse allmählich in diese übergehen. Spärliche Individuen von Feldspat, die früher vorhanden waren, sind jetzt in pinitoidische Substanz umgewandelt. Die Grundmasse besteht aus unregelmässig begrenzten, in einander eingreifenden, ziemlich schwach doppelbrechenden Individuen; man möchte sie gern selbst für submikroskopische Verwachsungen halten. Jedenfalls ist diese Struktur kaum eine ursprüngliche, und das Gestein ist unter keinen Umständen als Rhyolit zu bezeichnen, auch wenn sich sein Alter als tertiär herausstellen sollte<sup>1</sup>. Die Grundmasse zeigt ferner eine ausgeprägte Fluktuationsstruktur durch feine, parallele Streifen, welche um die Einsprenglinge umbiegen und sich häufig gabeln, zuweilen ein der sog. Rhyolitstruktur ähnliches Aussehen annehmend. Diese bestehen entweder aus Quarz- und Feldspatindividuen, oder aus einer lebhaft doppelbrechenden, muscovitähnlichen Masse. Eine ähnliche Masse füllt häufig die Einbuchtungen der Einsprenglinge aus; man könnte vermuten, dass sie aus einem nicht sehr sauren Glas entstanden wäre.

<sup>1</sup> Dies scheint jedoch kaum wahrscheinlich zu sein.

Die Einschlüsse von Kupferglanz sind gegen den Porphyr scharf abgegrenzt; Erz findet sich in der Grundmasse in der Regel nicht. Die Struktur der Einschlüsse kann, so lange sie frisch sind, u. d. M. nicht studirt werden. An ihren Rändern liegen zuweilen zersprungene Quarzindividuen und selbst schliessen sie gelegentlich Splitter von demselben Mineral ein. Wenn das Erz oxydirt wird, enthält es zahlreiche Hohlräume und Sprünge, die auffallend häufig auf einander senkrecht stehen.



Fig. 2. Einschlüsse von Kupferglanz in Porphyr. (Nat. Gr.)

Die Fluktuationsstreifen biegen um diese Erzeinschlüsse um, jedoch nur an den Seiten deutlich, aber es kommt auch vor, dass sie gegen dieselben scharf absetzen.

Von den übrigen Gesteinen sind die in dem Porphyr auftretenden Porphyritgänge die interessantesten. Die Einsprenglinge sind alle vollständig zersetzt und meistens durch Pseudomorphose in Malachit umgewandelt. Die Grundmasse besteht aus Feldspatleisten in hyalopilitischer Anordnung, mit etwas Epidot und einer wahrscheinlich aus Glas entstandenen Zwischenmasse.

Von den erörterten Gesteinstypen recht verschieden ist das in dem Sandstein auftretende Ganggestein, das mit den im SW vorkommenden Porphyriten grosse Ähnlichkeit besitzt. Es besteht zum grossen Teil aus Olivin, jetzt unter Ausscheidung von das Gestein rötlich färbendem Eisenoxyd vollständig in Serpentin verwandelt, und enthält ferner leistenförmigen Plagioklas, etwas Augit sowie in reichlicher Menge Calcit, teilweise mandelähnliche Hohlräume ausfüllend. Es ist somit ein echter Melaphyr.

Unter den Einschlüssen der Breccie finden sich verschiedene Varietäten von Augitporphyriten und Melaphyren, ausserdem auch Partien, die

aus sphärolitischer oder parallelfasriger, »kryptogranophyrischer«<sup>1</sup> Substanz bestehen.

In der Richtung des Gangstreichens nimmt das Erz schnell an Menge ab. Einige km. weiter ab in derselben Richtung finden sich einige Schürfe zur Auffindung von Silber und Kupfer in einem augitporphyritischen Gestein, das mit dem oben beschriebenen Ganggestein einige Ähnlichkeit besitzt, sich aber von diesem durch die Anwesenheit grosser Augiteinsprenglinge und eine gröbere Struktur unterscheidet.

Eine Erklärung von diesem merkwürdigen Erzvorkommnis zu geben ist vorläufig sehr schwer. Für die Annahme, dass das Erz sekundär durch Dämpfe oder Wasser aus dem Erdinneren oder einem der umgebenden Gesteine hierhergebracht wäre, liegen keine Gründe vor. Mir scheint es wahrscheinlich, dass es der Porphyry selbst mitgebracht hat, sei es als Bruchstücke von früher existierenden Lagern, oder als eingeschmolzen; das Erz würde in diesem Falle ein direktes Krystallisationsprodukt der Magma sein. Die erstere Annahme ist deshalb weniger wahrscheinlich, weil man dann auch Einschlüsse von Gesteinen oder von Erzen anderer Art erwarten würde.

Vielleicht wird in dieser Hinsicht der fortgesetzte Grubenbetrieb neue Aufschlüsse geben.

## 2. Silberminen von Los Bodos<sup>2</sup>.

(Prov. Atacama. Breite etwa 27° 40' S.)

Die einzige Mine, die jetzt in diesem Minengebiet im Betrieb ist, die Mine Elisa, auf die sich die folgende Beschreibung in der Hauptsache bezieht, ist gegenwärtig betreffs der Erzerzeugung eine der wichtigsten in Chile. Die jährliche Produktion beläuft sich auf etwa 12—13,000 Tonnen Erz, die etwa ebenso viele Kgr. Feinsilber liefern. Das silberführende Lager hat eine Mächtigkeit von 1—2 m. und streicht in etwa N 30° O; der Fallwinkel wechselt zwischen 15—30° gegen SO. Das Erz ist hauptsächlich gediegenes Silber und Chlorsilber (Chlorbromsilber); ausserdem in wechselnder Menge Quecksilberverbindungen, während Schwefel-, Arsen- und Antimonverbindungen vollständig fehlen. Der angrenzende Augitporphyryt des Liegenden enthält Gänge, auf die der erste Minenbetrieb angelegt wurde, und hier hatten die Quecksilberverbindungen die Oberhand.

Ebenso wie bei Amolanas wechseln auch hier basische und, in geringerer Menge, saure Ergussgesteine mit sedimentären Bildungen. Das Profil unten soll die allgemeinen Züge der Geologie der Umgegend veranschaulichen.

<sup>1</sup> Vergl. O. NORDENSKJÖLD, Bull. G. I. Ups. Bd. I; 207.

<sup>2</sup> La mina Elisa del mineral de los Bodos. "Mineral" ist die Bezeichnung für eine Gruppe von meistens geologisch zusammenhängenden Gruben.

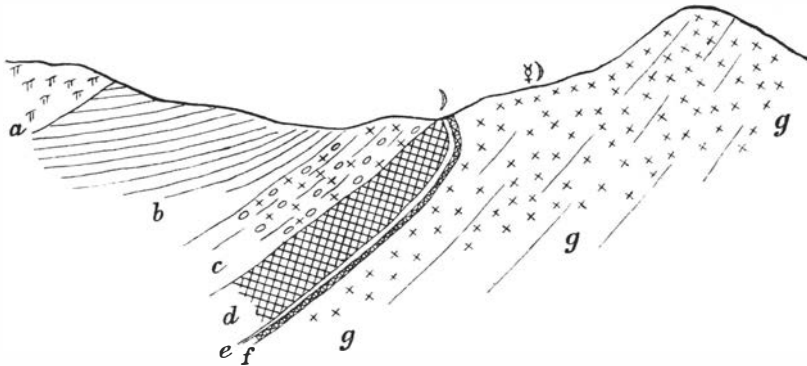


Fig. 3. Querprofil von los Bordos.

Oben bei *a* liegt ein dichter, heller Feldspatporphyr mit ausgesprochener Fluidalstruktur. Darauf folgen mächtige Schichten von dichtem Kalkstein («Caliza») von meist dunkler Farbe, und mit schlecht erhaltenen Fossilien (*b*). Dann folgt ein augitporphyritisches Eruptivkonglomerat (vielleicht ein Tuff), das, wo es zu Tage liegt, vollständig verwittert und zu einer Schuttmasse umgewandelt ist, »Arenisca«, (*c*). Unter der Arenisca liegt eine 30 bis 40 m. mächtige Bank von hellem Gestein («Cantera»), schon aus der Ferne über eine lange Strecke verfolgbar (*d*). Es ist ein etwas sandiges, tuftähnliches Gestein; (sein Aussehen wird unten näher beschrieben werden). Dies Gestein bildet das Hangende der erzführenden Zone, die nun zunächst folgt. Sie wird von einem talkschieferähnlichen, ganz weichen, fetten, höchstens 2—3 m. mächtigen Gestein gebildet, dessen ursprüngliche Beschaffenheit ich nicht feststellen konnte. Dies ist der »Manto Bordos« (*e*). Oben liegt zuweilen ein wenig mächtiges Konglomerat, unten an einigen Stellen eine schmale Bank von hellem Porphyr; dann aber folgt die viele hundert m. mächtige Zone der Augitporphyrite mit deren Tuffen und Konglomeraten (*g*). Die oberste Bank ist sehr bemerkbar und bildet, obschon meistens nur etwa 2 m. mächtig, überall das Liegende der Erzzone. Es ist der »Manto negro« der Bergleute, ein zuweilen mandelsteinartiger Augitporphyr (*f*).

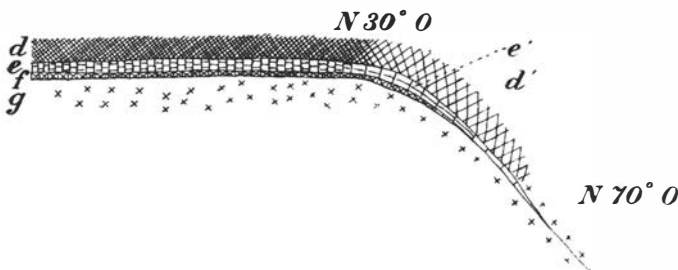


Fig. 4. Horizontalprofil von los Bordos.

Der längste Feldort läuft in einer Tiefe von etwa 500 m.<sup>1</sup> (Vergl. Fig. 4). Im Dach begegnet überall die Cantera, in dem Grund der Manto negro. Die Richtung ist anfänglich ebenso wie das Streichen N 30° O, macht aber nachher um dem letzteren zu folgen eine Umbiegung nach N 70° O. Gleichzeitig verändert sich die petrographische Beschaffenheit, zuerst diejenige des Hangenden, wo an Stelle der Cantera ein von den Bergleuten als Caliza bezeichnetes Gestein auftritt (*d'*), was freilich ein irreführender Name ist, da das Gestein weder Kalk enthält noch der oben liegenden Caliza ähnlich ist. Mir schien es, dass sie nur eine weniger zersetzte Ausbildungsform der Cantera darstelle, und die mikroskopische Untersuchung hat dies in der Hauptsache bestätigt.

Es ist nun bemerkenswert, dass, obschon der Manto Bordos und die von ihm bezeichnete Quetschungszone noch weiter fortsetzen, sie hier doch mit der Veränderung des Hangenden erzarm, »brocirt«<sup>2</sup>, wird. Den Feldort hat man trotzdem weiter fortgesetzt. Bald hört der Manto Negro auf, und zu äusserst gegen O. arbeitete man zur Zeit meines Besuches nur in einer sehr silberarmen Eruptivbreccie von Augitporphyrit.

Es fällt sofort auf, dass das Erz an eine Quetschungszone am Kontakt zwischen dem »Cantera«-Gestein und den Augitporphyriten, und zwar besonders dem Manto negro gebunden ist. Das Silber und seine Verbindungen bedecken hier als Kruste die Schichten und Gleitflächen des Schiefergesteins des Manto Bordos. Aber nur da, wo die erwähnten Gesteine in einer ganz bestimmten Ausbildungsform auftreten, wird der Schiefer erzführend. Ob dieser ursprünglich ein Gesteinlager von einer von derjenigen der umgebenden Gesteine abweichenden Beschaffenheit gebildet hat, oder ob er nur aus diesen durch Druckmetamorphose entstanden ist, wurde nicht näher untersucht, aber für die Frage nach der Entstehung der Erze ist dies wahrscheinlich ohne Belang. Das Erz stammt aller Wahrscheinlichkeit nach aus dem umgebenden Gestein, und zwar aus dem Augitporphyrit, wo es allerdings nicht in *abbauwürdiger* Menge auftritt, aber doch häufig nachgewiesen worden ist, und wo auch die obenerwähnten amalgamführenden Gänge das Vorkommen desselben beweisen. Es verdient erwähnt zu werden, dass diese Vorkommnisse, obschon im Liegenden gelegen, *höher* liegen als die abgebauten Teile der Mine Elisa, was eine Andeutung giebt, auf welche Weise man es zu erklären hat, dass die silberführenden Lösungen dem Hangendenkontakt gefolgt sind.

Zuletzt wollen wir die bei Los Bordos auftretenden Gesteine petrographisch kurz beschreiben.

Der obere Porphyry, in Chile häufig als »Trachyt« bezeichnet, ist ein dichter Felsitporphyry mit typisch mikropoikilitischer Grundmasse, in der eine deutliche Fluidalstruktur, z. T. auch rhyolitische Struktur, durch die Anordnung mikrokrySTALLINER Schlieren hervortritt. Die wenigen Ein-

<sup>1</sup> In der Richtung des Schichtenfallens.

<sup>2</sup> »Manto broceador« bezeichnet auf spanisch ein Lager des umgebenden Gesteins, das den Erzgang verrammt, »Manto pintador« ein solches, das ihn bereichert.

sprenglinge — Ortoklas und zuweilen Plagioklas — sind stark zersetzt und zeigen nach aussen eine unbestimmte Begrenzung.

Die Arenisca ist meist so stark zersetzt, dass sie sich für mikroskopische Untersuchung nicht eignet. Eine etwas abweichende Probe stellt ein durch Calcit zusammengekittetes, tuffähnliches Sediment dar. Sie besteht aus Körnern von gleichmässiger Grösse: Mineralindividuen wie Quarz, Ortoklas und Plagioklas und Gesteinfragmenten, meistens von mittelsauren Typen, auch Mandelsteinen und mikrolitischen Gesteinen von hyalopilitischer Struktur, ferner sauren Quarz-Feldspatverwachsungen, unter ihnen auch komplexe Sphärolite, rötlich gefärbt von eisenoxydischem Pigment.

Sehr bemerkenswert ist das als Cantera bezeichnete Gestein. U. d. M. zeigt es eine ziemlich gleichmässige, nicht sehr feinkrystallinische Grundmasse von unregelmässig begrenzten Individuen, reich an Einschlüssen, aber sonst einheitlich. Die meisten dürften aus Quarz und Ortoklas bestehen; das Aussehen erinnert an viele Quarzite. Kalkspat und andere sekundäre Mineralien kommen nur untergeordnet vor; Gesteinsfragmente sind recht selten. Was aber dem Gestein sein grösstes Interesse verleiht, ist seine schöne Aschenstruktur. Diese eigentümlichen, von der Grundmasse sich scharf abhebenden, länglichen oder dreieckigen, sehr häufig konkavbogenbegrenzten »Einschlüsse« bestehen zuweilen aus einer sericit- und calcitreichen Substanz, zuweilen aus einer fast einfachbrechenden Masse, manchmal auch aus parallel oder radiär angeordneten (Granophyr-) Fasern, gelegentlich sogar aus allen drei Substanzen, schichtweise mit einander verbunden.

Die oben erwähnte dichte Ausbildungsform der »Cantera«, die die erzarmen Teile des Manto Bordos begleitet, besitzt eine viel dichtere Grundmasse, die sich erst bei der stärksten Vergrösserung in ein Aggregat von kleinen, unregelmässigen Sphäroliten auflöst. Dem vorigen Gestein schliesst sie sich aber durch eine fast noch deutlichere Aschenstruktur an; die Mehrzahl der Einschlüsse besteht entweder aus Calcit oder aus axiolitischen Aggregaten.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass hier Tuffe einer eigentümlichen Art vorliegen. Die Sache verdient aber näher untersucht zu werden, da es wohl noch etwas verfrüht wäre, aus der Anwesenheit der Aschenstruktur immer auf die Tuffnatur eines Gesteins schliessen zu wollen<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Man sollte zwischen der echten Aschenstruktur (Vergl. MÜGGE, N. J. Beil—Bd. 8: 648, 713) und der Rhyolitstruktur (beschrieben von RUTLEY, vergl. O. NORDENSKJÖLD, Dies. Bull. I: 212, 224) unterscheiden. Die erstere Struktur entsteht wahrscheinlich durch in Tuffgesteinen eingeschlossene Glasscherben; ähnliche Erscheinungen können vielleicht durch sekundär ausgefüllte Kontraktionssprünge vulkanischen Gesteins hervorgerufen werden. Die letztere Struktur wird, wenigstens z. T., durch schlierenartige, fluidale Streifen gebildet, die durch Aufstauung bogenförmige Begrenzungslinien annehmen. Es dürfte nicht immer ganz leicht sein, diese Strukturen sicher zu unterscheiden, wenigstens wenn man sie nur nach Beschreibungen beurteilen will. Ich bemerke dies in Erwiderung auf die Ausführungen BÄCKSTRÖM'S, der (K. Sv. Vet.-Akad. Handl., Bd. 29, N:o 4, S. 54) einige von mir aus Småland beschriebene



Die Augitporphyrite des Liegenden sind nicht sehr bemerkenswert. Die Einsprenglinge bestehen aus Plagioklas von frischem Aussehen, die Grundmasse aus Feldspatleisten mit einer Zwischenklemmungsmasse, die teilweise noch jetzt glasig erscheint, meistens aber in eine opake Masse umgewandelt ist. Die Struktur ist häufig eutaxitisch oder breccienartig.

Der Manto Negro unterscheidet sich von den beschriebenen Varietäten durch die scharfe Begrenzung der Plagioklaseinsprenglinge, sowie durch die fluidale Anordnung und die Wachstumsformen ähnliche Begrenzung der Feldspatleisten in der Grundmasse.

Der erzführende Schiefer (Manto Bodos) besteht ausschliesslich aus einer dicht zusammengefüzten Masse von äusserst feinen Schuppen eines lebhaft doppelbrechenden, parallelauslöschenden Minerals (Glimmer oder Talk).

Wie oben erwähnt, wurde der Feldort jetzt im SO durch einen breccienartigen Porphyrt getrieben. Vielleicht war man dort in das Liegende hineingekommen. Aber es ist auch möglich, dass gerade diese schwach silberführende Porphyritbreccie eine direkte Fortsetzung der grossen durch den Manto Bodos bezeichneten Quetschungszone bildet, dass also diese hier ihren Abschluss findet. Die Breccie besteht aus Bruchstücken eines schönen, dem Manto negro ähnlichen Porphyritgesteins, die in einer fast ausschliesslich aus zerbrochenen Feldspatplatten nebst reichlichem Kalkspat bestehenden Masse liegen.

---

Gesteine als Tuffe gedeutet hat. Dies mag, wie ich auch selbst schon bemerkt habe, für mehrere Fälle richtig sein, aber echte Aschenstruktur ist in diesen Gesteinen jedenfalls sehr selten, und in den Gesteinen, die ich als Porphyrt beschrieb, kommt sie nicht vor.

Ich hoffe später Gelegenheit zu finden, auf die Bedeutung der erwähnten Strukturen zurückzukommen.

