

Geochemie und Petrographie der Magnesitlagerstätten des Alto Chapare / Bolivien

Ernst-Dieter Franz, Stuttgart, José Ponce V. und Wolfgang Wetzenstein, La Paz*)

Die Magnesitlagerstätten des Alto Chapare, Department Cochabamba/Bolivien, liegen im schwer zugänglichen Regenwald in ungefähr 2000 m Höhe. Sie haben kambrisches Alter. Tektonogenetisch gehören sie zur sogenannten „Faja Andina“. Die Magnesite sind in eine Serie von ungefähr 320 m Mächtigkeit eingeschaltet, die aus Karbonatgesteinen, Sandsteinen und Schiefem besteht. Die kommerzielle Reserve beträgt mehr als 20 Millionen Tonnen. Charakteristisch für die Region des Alto Chapare ist eine Bor-Mineralisation mit Turmalin, Boracit und drei Generationen von Danburit. Zum ersten Mal werden geochemische Untersuchungen an bolivianischen Magnesiten und deren Nebengesteinen durchgeführt.

The magnesite deposits of Alto Chapare, department Cochabamba, Bolivia, occur in difficult accessible rainforest in about 2000 m height. They have Cambrian age and tectogenetic they belong to the so called "Faja Andina". The magnesites are inserted in a series of 320 m with carbonate rocks, sandstones and slates. The commercial reserve amount to more than 20 mio. tons. Characteristic for the region of Alto Chapare is a boron-mineralization with tourmaline, boracite and three generations of danburite. First time geochemical investigations were made of Bolivian magnesites and surrounding rocks.

Les gisements de giobertite de l'Alto Chapare, Département de Cochabamba (Bolivie), sont situés dans une zone forestière d'accès difficile, à environ 2000 m d'altitude. Ils remontent au cambrien. Du point de vue tectogénétique, ils appartiennent à la «Faja Andina». Les giobertites sont insérées dans une formation d'environ 320 m, constituée de roches carbonatées, de grès et de schistes. La réserve commercialisable s'élève à plus de 20 millions de tonnes. La région de l'Alto Chapare est caractérisée par une minéralisation de bore comprenant de la tourmaline, de la boracite et trois générations de danburite. On a effectué pour la première fois des études géochimiques sur les giobertites boliviennes et leurs roches associées.

Einleitung

Aus der Lageübersicht der wichtigsten lateinamerikanischen Magnesitlagerstätten in Abb. 1 geht hervor, daß auf dem südamerikanischen Subkontinent Brasilien, dessen Jahresproduktion 1976 419.000 t betrug, und Venezuela die Hauptproduzenten von Magnesit sind.

Obgleich Bolivien ein klassisches Bergbauland ist, sind die nichtmetallischen Rohstoffe dieses Andenlandes, das mit nur rund 4,8 Mill. Einwohnern etwa 13mal größer als die Republik Österreich ist, noch so gut wie unbekannt (Wetzenstein 1977/78). Dieser Zustand wurde umso deutlicher, als die rege Investitionsfreudigkeit ausländischer Kapitalgeber in den vergangenen Jahren zwingend auch in den Bereich der Steine- und Erden-Industrie ausstrahlte. Auf die Notwendigkeit, die Nichtmetallvorkommen des Landes systematisch zu erfassen, wurde im Rahmen eines Vortragszyklus nachdrücklich hingewiesen, der im Jahre 1976 von dem bolivianischen Bergbauministerium (Ministerio de Minería y Metalurgia), dem staatlichen Geologischen Dienst (Servicio Geológico de Bolivia, GEOBOL) und den Vereinten Nationen organisiert wurde. Derzeit unternehmen verschiedene Organisationen in Bolivien Anstrengungen in dieser Richtung.

Auch die Magnesitvorkommen Boliviens sind nur sehr vage bekannt (Wetzenstein 1977). Vorsichtige Schätzungen der Autoren gehen in einer ersten Prognose bis zu ca. 20 Mill. t, die alle in einem Gebiet von ca. 20 × 6 km im Alto Chapare/Provinz Cochabamba liegen. Laut Angaben von Bustamante (1976) ist die Errichtung einer Anlage zur Produktion von 50.000 jato Sintermagnesit geplant. Ferner ist eine Fabrik zur Herstellung von 10.000 bis 15.000 jato Feuerfestziegeln vorgesehen, die den Bedarf der verschiedenen Hütten des Landes decken soll. Günstige Standortbedingungen bestünden hinsichtlich einer geplanten Eisenhütte in Cochabamba (geplante Kapazität: 100 t/Tag).

Den Inlandsmarkt für Magnesit würden wohl ausschließlich die Hütten der „Empresa Nacional de Fundiciones“ (ENAF) (Zinn, Antimon, Zink, Eisen) sowie die derzeit drei Zementfabriken des Landes absorbieren. – Bei weitem reicht die momentane Zementproduktion nicht aus. So mußten z. B. im Jahre 1976 ca. 500.000 t Zement aus Chile importiert werden. Ab 1980 sollen weitere drei Zementfabriken in Santa Cruz, Oruro und Tarija ihren Betrieb aufnehmen, die Bolivien unabhängig von der Einfuhr machen sollen.

Potentielle Märkte für bolivianischen Magnesit wären vor allem Argentinien (derzeit Einfuhr aus Brasilien), Chile und Peru. Venezuela und Kolumbien werden wahrscheinlich auch in Zukunft Magnesiaprodukte aus dem verkehrsgünstiger gelegenen mexikanischen Vorkommen einführen. Ferner bleibt abzuwarten, wie sich der Magnesitbergbau in Guatemala entwickeln wird (geplante Kapazität 30.000 t Magnesia/Jahr).

*) Anschrift der Verfasser:
Priv.-Doz. Dr. Ernst-Dieter Franz, Institut für Mineralogie und Kristallchemie der Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 55, D-7000 Stuttgart-Vaihingen.
Dipl.-Ing. José Ponce Villagomez und Dr. Wolfgang Wetzenstein, Instituto de Geología Aplicada, Universidad Mayer de San Andres, Casilla 1851, La Paz, Bolivien.



Abb. 1

Die Magnesitvorkommen Südamerikas

Produktionsdaten der Magnesitlagerstätten im Alto Chapare existieren nicht. Laut mündlicher Mitteilung sollen beispielsweise im Oktober 1977 ca. 50 t abgebaut worden sein; in Zeiten der Spitzenproduktion belief sie sich auf 100 t/Monat. Noch erlaubt die derzeitige Infrastruktur (z. T. bedingt durch die hohe Niederschlagsquote in der Region) es noch nicht, daß der Abbau kontinuierlich das ganze Jahr hindurch fortgesetzt werden könnte. Die im Tagebau gewonnenen Rohmagnesite werden vorerst nahezu vollständig auf dem Bauindustriesektor eingesetzt.

Geographische Lage und klimatische Bedingungen

Die im Departamento von Cochabamba (Koordinaten von Cochabamba: 17°23' südl. Breite, 66°09' westl. Greenwich, Höhe 2553 m ü. d. M.) gelegenen Vorkommen im Alto Chapare (Provinz Aranibar) gehören tektonogenetisch der sogenannten „Faja Andina“ (Abb. 2) an. Die an der Ostflanke des Gebirges San Benito auftretenden Magnesite

liegen in der morphologischen Einheit der „Valles und Yungas“, die sich durch ihr feucht-tropisches Klima auszeichnet. Die um 2000 m hoch gelegenen Vorkommen befinden sich im Grenzbereich der „Valles“ (Zone zwischen 1800 m und 3000 m) zu den „Yungas“ (Höhenlage zwischen 1000 m und 1800 m). Der Name „Limbo“ (Vorhölle) des Hauptvorkommens weist treffend darauf hin, daß es sich um eine äußerst unwirtliche Zone im Bergregenwald handelt. Entsprechend dicht ist die Vegetation des Gebiets – ein Faktor, der ganz wesentlich die Explorationsarbeiten in dieser Zone erschwert (Abb. 3).

Die Magnesitvorkommen befinden sich rund 70 km (Luftlinie) NE von Cochabamba. Man erreicht sie über die neue Nationalstraße Nr. 4, die Cochabamba mit dem Kolonisationsgebiet des Chapare verbindet. Bei km 42 verläßt man die nach NW umbiegende Nationalstraße im Ort Aguirre (3350 m ü. d. M.) und benutzt die alte Chapare-Straße in Richtung NE (s. Abb. 4). Nach 35 km erreicht man auf durchwegs gut ausgebauter Erdstraße den Paßübergang (4200 m, km 77).

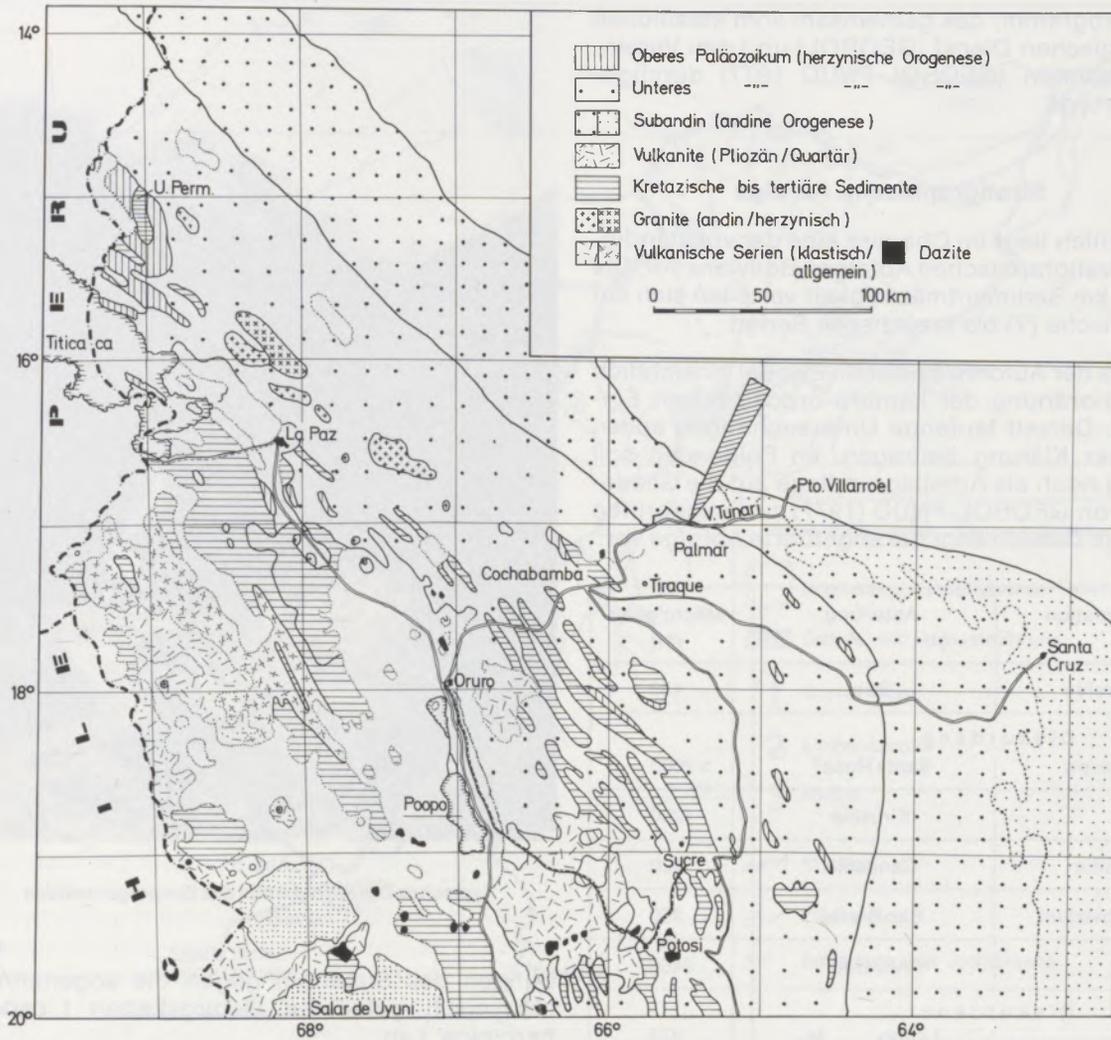


Abb. 2
Tektogenetische Übersichtskarte

Während der Regenzeit ist die Paßregion häufig verschneit und nicht mehr passierbar. Die in steilen Kehren talab führende Straße ist bis zu den Magnesitlagerstätten bei km 122 befahrbar (Höhe 2150 m). Der einstige Straßenstützpunkt Limbo ist von oben sowie von Villa Tunari über El Palmar lediglich zu Fuß erreichbar, da die alte Chapare-Straße vielerorts verfallen und verwachsen ist. Die Instandhaltung bis zum km 122 erfolgt durch den Grubenbesitzer der Magnesitabbaue.

Bedingt durch die hohe Niederschlagsrate in der Region (geschätzt 6 m bis 7 m pro Jahr; für Villa Tunari (294 m ü. d. M.) wurden im Jahre 1958 4724 mm bestimmt), die zu ca. 70% während der Regenzeit (in den Monaten November bis März) anfällt, können bei den jetzigen Straßenverhältnissen die Lagerstätten maximal 6 Monate des Jahres ausgebeutet werden.

Geologischer Rahmen

Die geologische Erforschungsgeschichte des Alto Chapare ist noch relativ jung. Die ersten Untersuchungen stammen von Schlagintweit (1939) und Ahlfeld (1943). Letzterer beschäftigte sich ausschließlich mit den Asbestvorkommen des Gebietes. Die geologische Kartierung des Chapare wurde in den fünfziger Jahren im Rahmen der Erdölexplorationstätigkeit der Gulf Oil Co. durchgeführt: Frankl (1959) und Chamot (1961). Unveröffentlichte Studien zu dieser Region haben Cabrera & Brockmann (1964) sowie Vargas & Mariaca (1966) im Auftrag der staatlichen Erdölgesellschaft (YPFB) erstellt. Eine Zusammenfassung dieser Tätigkeiten sowie deren teilweise Überarbeitung veröffentlichten Brockmann et al. (1972). Die bisher wohl vollständigste geologische Kartierung des Untersuchungsgebietes entstammt dem Asbest-Explora-

tionsprogramm, das gemeinsam vom staatlichen Geologischen Dienst (GEOBOL) und den Vereinten Nationen (GEOBOL-PNUD 1977) durchgeführt wurde.

Stratigraphische Abfolge

Vermutlich liegt im Chapare eine der vollständigsten stratigraphischen Abfolgen Boliviens vor. Die ca. 10 km Sedimentmächtigkeit verteilen sich auf kambrische (?) bis kretazische Serien.

Seitens der Autoren bestehen Zweifel hinsichtlich der Einordnung der kambro-ordovizischen Einheiten. Derzeit laufende Untersuchungen sollen zu einer Klärung beitragen. Im Folgenden soll jedoch noch als Arbeitsgrundlage auf die Gliederung von GEOBOL-PNUD (1977) zurückgegriffen werden. Danach liegt die angeführte Abfolge vor:

Formation	Abteilung	Mächtigkeit (m)
Kreide	Beu	450
Diskordanz		
Devon	Santa Rosa?	>2000
	Kirusilla	1200
Silur	Cancañiri	200
Ordovizium	San Benito	350
	Anzaldo	2450
Diskordanz		
	Limbo	M ₂ 970
		M ₁ 910
		M ₃ 400
Kambrium	Cristalmayu	M ₂ 350
		M ₁ 250

Faunistisch belegt ist nach Brockmann et al. (1972) das Alter der ordovizischen (Llanvira bis oberes Ordovizium) sowie silurischen und devonischen Serien. Die Einstufung der klastischen Rotsedimente der sogenannten Formación Beu (Kreide) erfolgte nach lithologischen Gesichtspunkten (analoge Ausbildung wie im Subandin im Nordosten des Landes).

Tektonik

Das Untersuchungsgebiet liegt am Ostabfall der Cordillera Oriental und gehört tektonogenetisch dem Subandin (vgl. Abb. 2) an. Nach Martínez & Subieta 1971 (zit. in Ahlfeld 1972) trennt eine nach Westen einfallende Zone von Aufschie-

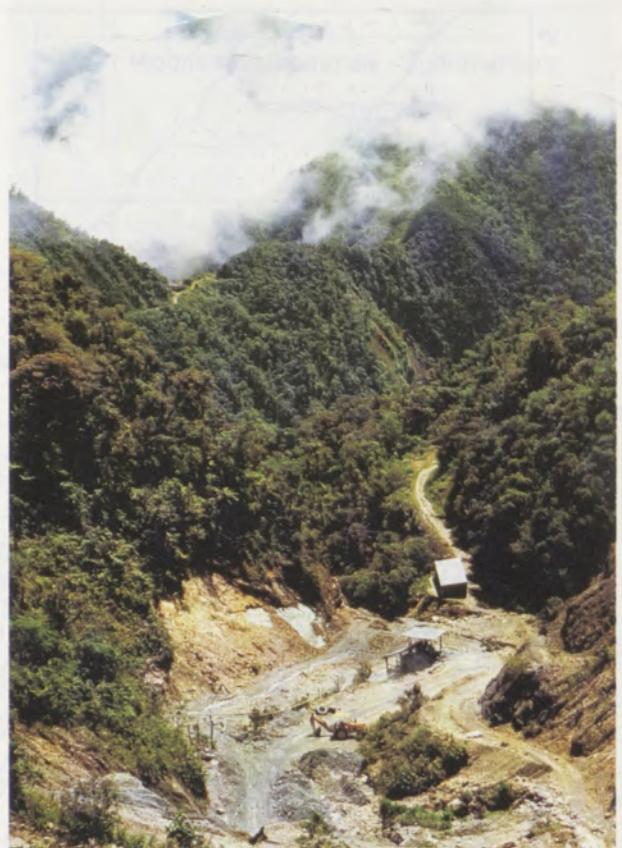


Abb. 3
Typisches Landschaftsbild des Bergregenwaldes

bungen das Subandin gegen die sogenannten herzynisch gefalteten Gebirgsketten („cadena hercínica“) ab.

Morphostrukturell zeichnet diesen Teil der Anden das Umbiegen des Generalstreichens von 150° im Norden auf ca. Ost-West-Streichen aus. Im Bereich zwischen 17° und 17°30' biegt allmählich nach Süden zu den Streichen in die übliche Nord-Süd-Richtung um. Rod (1960) und Ahlfeld (1967) führten – unter anderen – diesen „Andenknicke“ auf das Vorhandensein eines geotektonischen Elementes, der sogenannten „Elbow-line“, zurück.

Sicher nachweisbar sind im Untersuchungsgebiet herzynische und andine Falten. Wohl auf den älteren Beanspruchungsplan gehen 120° und 30° streichende Achsenrichtungen zurück (vgl. Abb. 5 und 6). Dabei überwiegt das Einfallen der Strukturen nach NW bzw. NE. Dieser relativ kurzweilige Faltenbau wird von jüngeren Großfalten überlagert, die um 150°-streichende Faltenachsen aufweisen (vgl. Abb. 6, 7, 8 und 11). Generell ist ein Achsentauchen nach Westen bzw. nach Nordwesten dominierend. Dies hat unmittelbar zur Folge, daß die magnesitführenden Serien nördlich des Rio Espiritu Santo (vgl. Abb. 14) nicht mehr ausbeissen. Andererseits bedingt das Achsensteigen nach Osten bzw. Südosten magnesithöfliche Gebiete im Süden des Rio San Mateo.

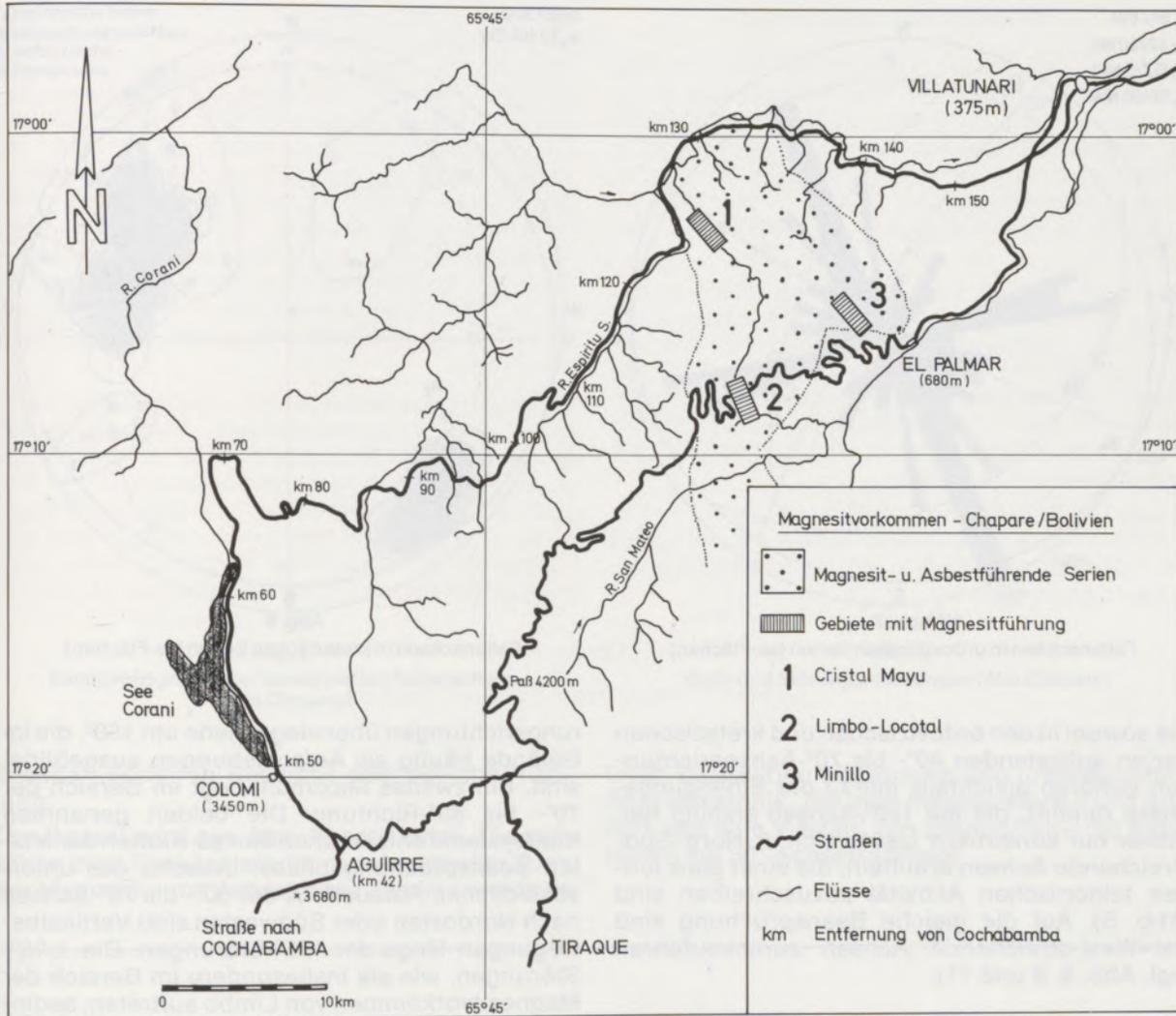


Abb. 4

Magnesitvorkommen Chapare/Bolivien

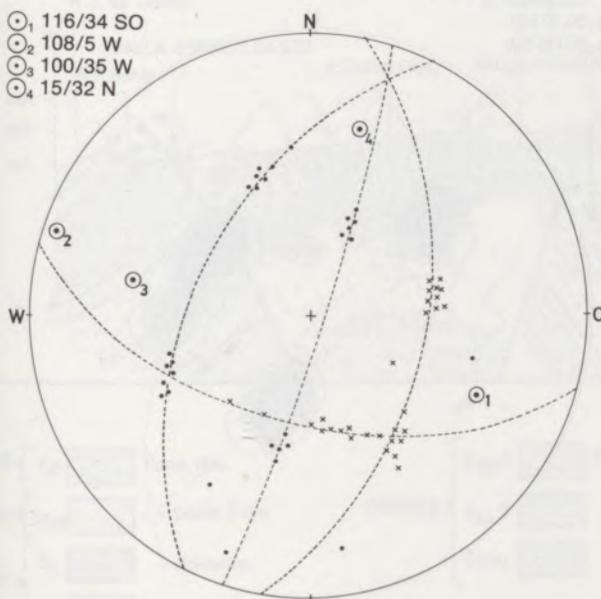


Abb. 5

Faltenachsen in kambrischen Serien (ss-Flächen)

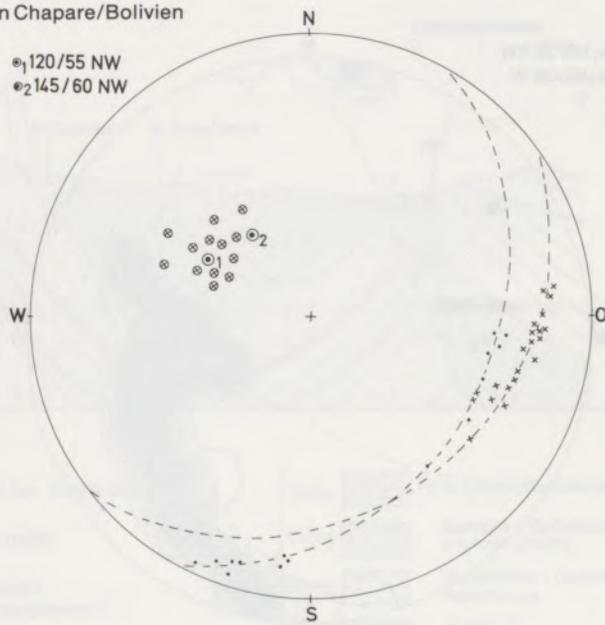


Abb. 6

Faltenachsen in silurisch-devonischen Serien (ss-Flächen)
(Kreise mit Kreuzen: Kleinfalten, im Gelände gemessen)

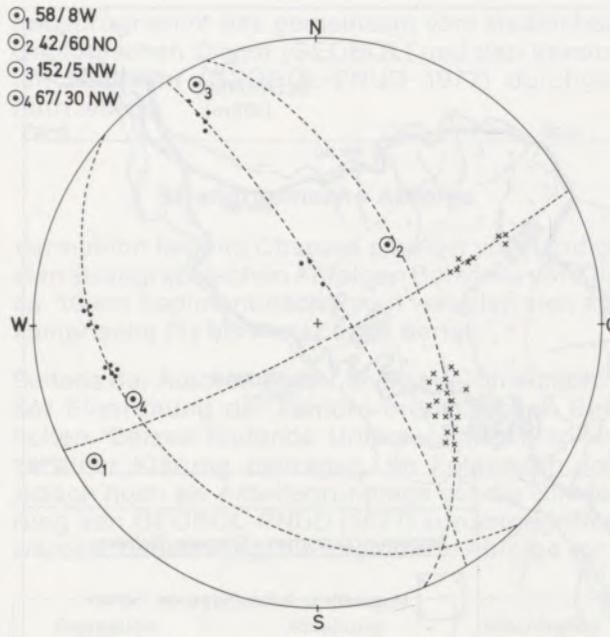


Abb. 7
Faltenachsen in ordovizischen Serien (ss-Flächen)

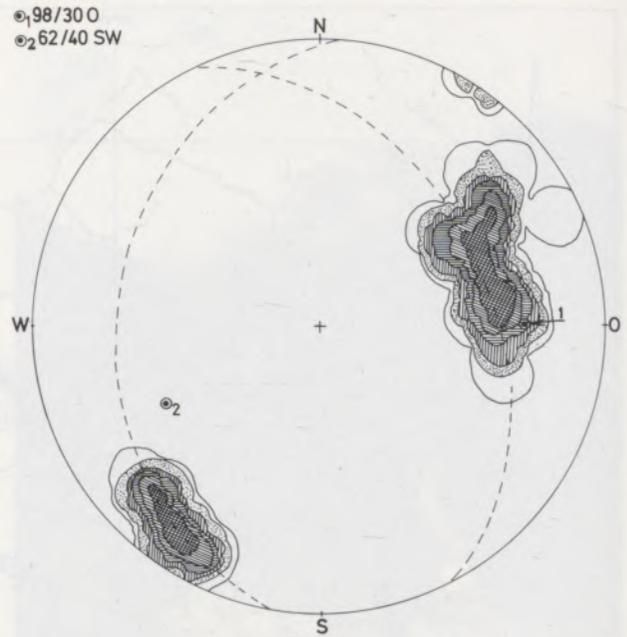


Abb. 9
Faltenachsen in kretazischen Serien (ss-Flächen)

Die sowohl in den ordovizischen und kretazischen Serien auftretenden 40°- bis 70°-Achsenrichtungen gehören gleichfalls mit zu der Einengungsphase (andin), die die 150°-Achsen erzeugt hat. Bisher nur konstruktiv lassen sich ±-Nord-Süd-streichende Achsen ermitteln, die einer ganz jungen tektonischen Aktivität zuzuschreiben sind (Abb. 5). Auf die gleiche Beanspruchung sind Ost-West-streichende Achsen zurückzuführen (vgl. Abb. 8, 9 und 11).

rungsrichtungen überwiegen jene um 150°, die im Gelände häufig als Aufschiebungen ausgebildet sind. Ein zweites Maximum liegt im Bereich der 70°- bis 80°-Richtung. Die beiden genannten Kluftsysteme entsprechen den ac-Klüften der letzten Beanspruchungsphase. Ursache des unterschiedlichen Abtauchens der 60°- bis 70°-Achsen nach Nordosten oder Südwesten sind Vertikalbewegungen längs der 155°-Störungen. Die ±15°-Störungen, wie sie insbesondere im Bereich der Magnesitvorkommen von Limbo auftreten, bedingen die Variation des Achsentauchens der kam-

Bei den in Abb. 12 dargestellten Kluft- und Stö-

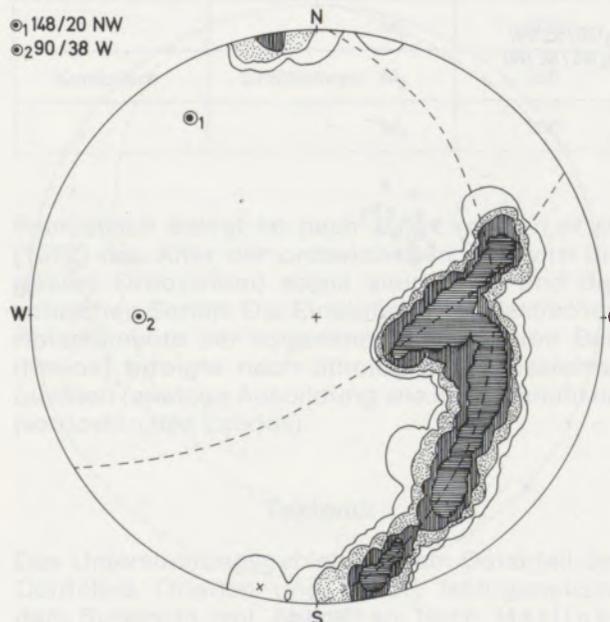


Abb. 8
Faltenachsen in silurisch-devonischen Serien (ss-Flächen)

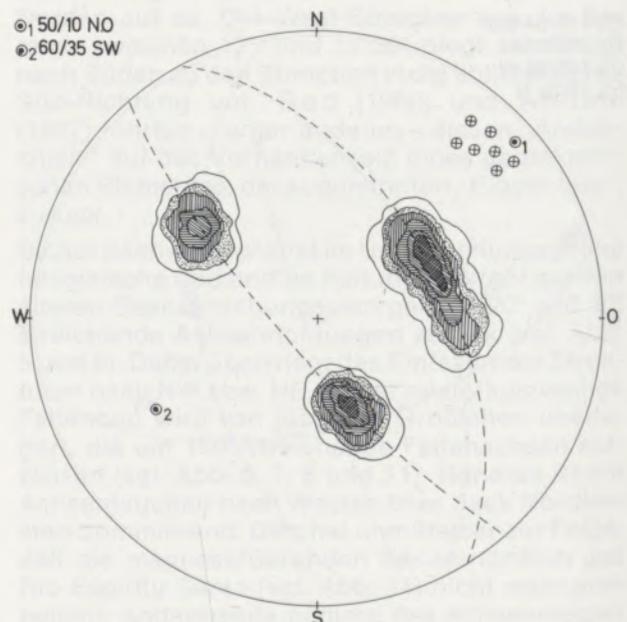


Abb. 10
Faltenachsen in kretazischen Serien (ss-Flächen)

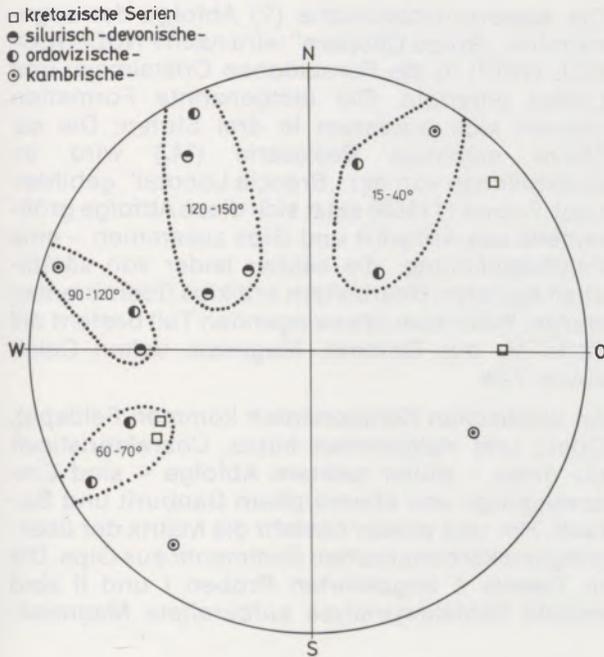


Abb. 11

Sammeldiagramm der konstruierten Faltenachsen (Alto Chapare)

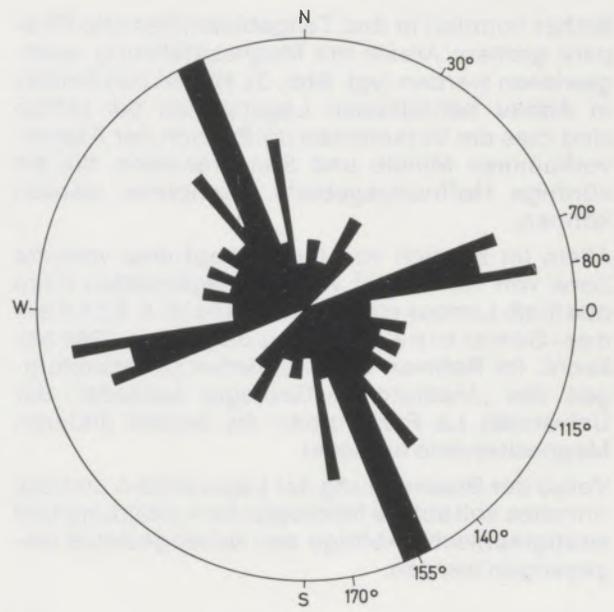


Abb. 12

Kluft- und Störungsmessungen (Alto Chapare)

brischen Serien in westliche oder östliche Richtung.

Der Baustil wird aus Abb. 13 ersichtlich. Die zwischen zwei Synklinalstrukturen eingepreßte Zone der Magnesit- und Asbestmineralisation wurde an

ihren Basisserien abgeschert und unterlag einer Spezialtektonik, die sich insbesondere darin äußert, daß eine Vielzahl von kleinen Syn- und Antiklinen mit 30°-Achsen vorliegt.

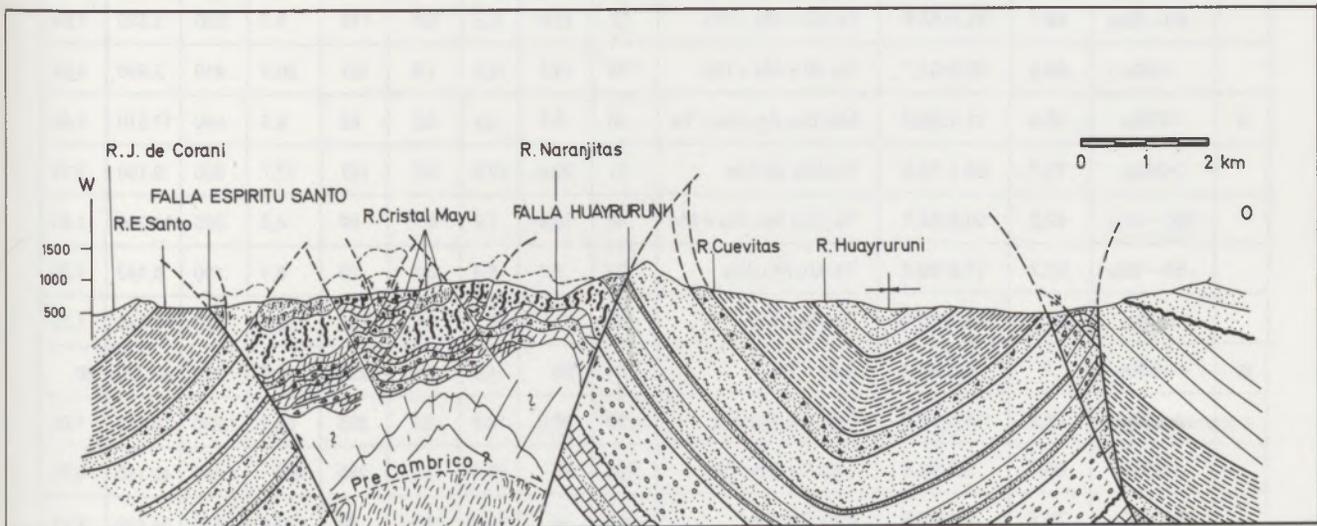
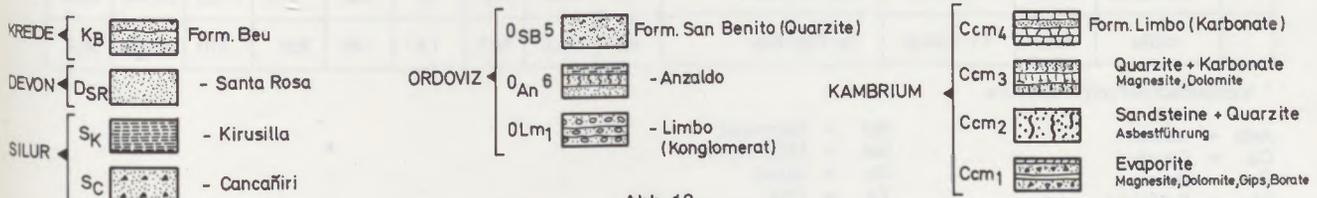


Abb. 13

Geologisches Profil von Rocco Rancho - Rio Putintiri / Chapare



Die Magnesitvorkommen

Bisher konnten in drei Teilgebieten des Alto Chapare größere Areale mit Magnesitführung nachgewiesen werden (vgl. Abb. 3). Neben den bereits in Abbau befindlichen Lagerstätten bei Limbo sind dies die Vorkommen im Bereich der Asbestvorkommen Minillo und San Francisco, die als künftige Hoffungsgebiete bezeichnet werden können.

Allein im Bereich von Limbo liegt eine vererzte Zone von ca. 20 km² vor. Die Lagerstätten 2 km oberhalb Limbos sind nach Ahlfeld & Schneider-Scherbina (1964) seit dem Jahre 1940 bekannt. Im Rahmen systematischer Untersuchungen des „Instituto de Geología Aplicada“ der Universität La Paz wurden die beiden anderen Magnesitreviere entdeckt.

Vorab der Besprechung der Lagerstätten und des -inhaltes soll auf die lithologische Ausbildung und stratigraphische Abfolge des Nebengesteins eingegangen werden.

Die kambro-ordovizische (?) Abfolge der sogenannten „Grupo Chapare“ wird nach PNUD-GEOBOL (1977) in die Formationen Cristalmayu und Limbo unterteilt. Die erstgenannte Formation gliedert sich wiederum in drei Stufen: Die ca. 250 m mächtige Basisserie (M₁) wird im wesentlichen von der „Breccia Locotal“ gebildet. Laut Frankl (1959) setzt sich diese Abfolge größtenteils aus Anhydrit und Gips zusammen – eine Fehlbestimmung, die seither leider von sämtlichen weiteren Bearbeitern kritiklos übernommen wurde. Wohl zum überwiegenden Teil besteht die Serie M₁ aus Dolomit, Magnesit, selten Calcit sowie Talk.

An klastischen Komponenten kommen Feldspat, Quarz und Hellglimmer hinzu. Charakteristisch für diese – sicher saline Abfolge – sind Einsprenglinge von idiomorphem Danburit und Boracit. Hin und wieder besteht die Matrix der überwiegend karbonatischen Sedimente aus Gips. Die in Tabelle 1 angeführten Proben I und II sind mittels Schlämmanalyse aufbereitete Magnesit-

Tabelle 1

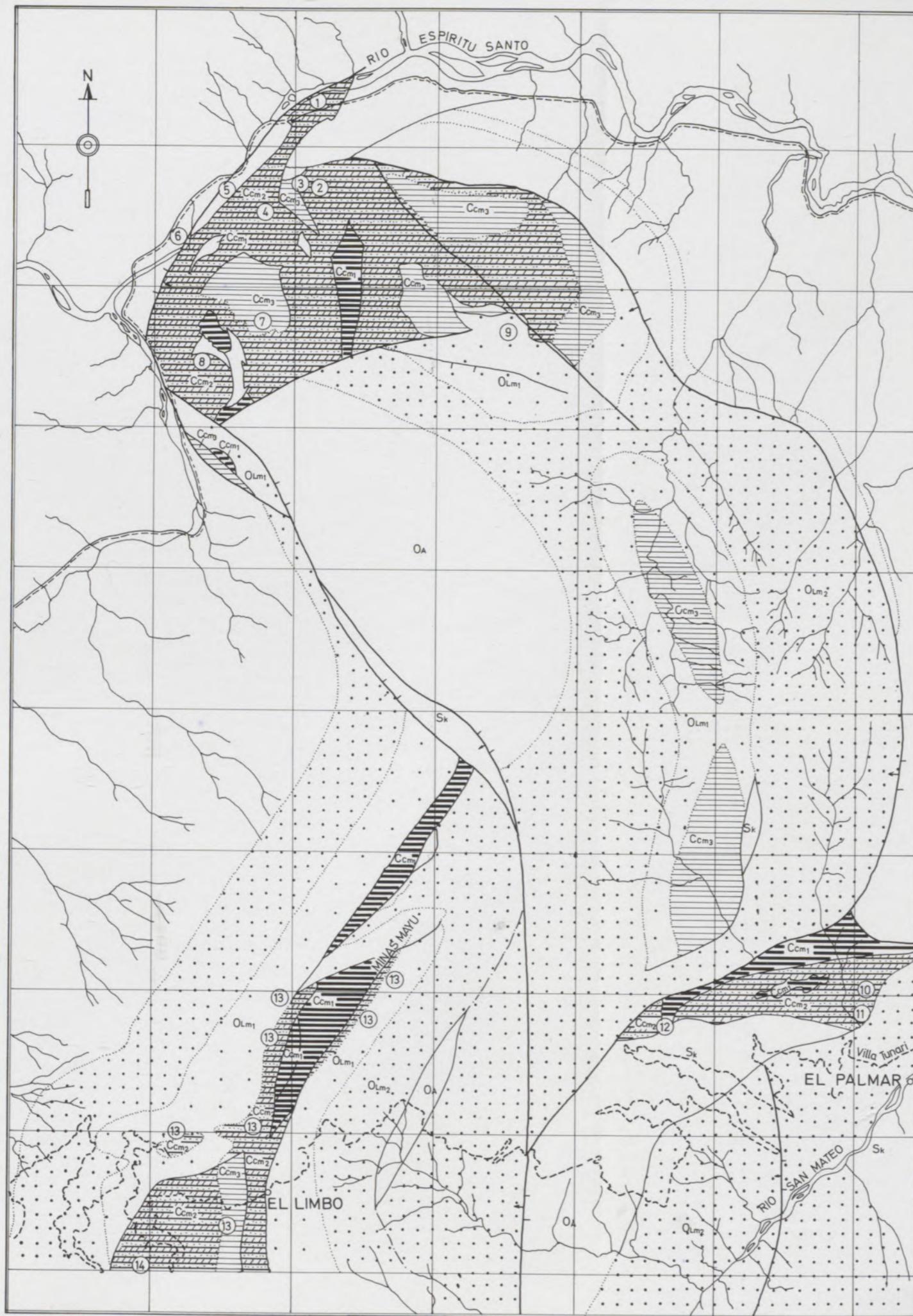
Zusammensetzung der Breccia Locotal

	Probe Nr.	HCl-unl. (%)	Ca:Mg molar	Mineralbestand	Zn	Ni	Cr	Ag	Sr	Cu	Mn	Fe	Ni/Cr
I	>250μ	20,5	3,4:96,6	Ma, Ta:Sp.:Ca, Do	51	6,8	8,0	0,8	80	12,0	600	2.530	0,85
	250–63μ	32,6	23,8:76,2	Ma, Ta, Do, Ca	60	7,5	6,6	0,8	78	7,2	495	2.320	1,14
	63–20μ	49,7	33,4:66,6	Ta, Gl+Ma+Do	57	12,6	6,5	0,9	115	9,7	380	2.530	1,94
	<20μ	69,3	32,3:67,7	Ta, Gl+Ma+Do	78	18,5	12,2	1,6	131	20,5	410	2.990	1,52
II	>250μ	43,4	11,1:88,9	Ma, Do; Sp.:Ca+Ta	38	8,7	6,2	0,5	68	8,3	960	17.510	1,40
	>250μ	76,7	24,1:75,9	Ta, Ma, Gl, Mo	51	22,6	19,0	0,7	127	17,7	600	9.190	1,19
	250–63μ	49,2	16,9:83,1	Ta, Ma; Sp.:Ca+Mo	45	10,3	7,2	0,7	69	4,3	825	14.250	1,43
	63–20μ	67,7	17,2:82,8	Ta, Gl, Mo, Ma	27	7,7	6,4	0,4	20	6,1	190	5.140	1,20
	<20μ	74,8	3,1:96,9	Ta, Fsp, Ma	192	52,7	30	0,8	48	33,5	272	17.835	1,76
III	4>250μ	*	4,6:95,4	Asb+Ta	101	80	4,0	2,4	229	49,6	116	62.320	20
	>250μ	72,2	45,0:55,0	Fsp, Ta, Ma, Ca	59	20,0	19,9	3,2	225	52,2	1.230	16.150	1,05
	>250μ	96,8	3,4:96,6	Fsp, Ta:Sp.:Ma	165	97	99,6	2,5	285	202	1.655	42.130	0,97
	250–63μ	75,6	2,1:97,9	Fsp, Ta, Ma	109	14	19,7	0,9	65	37,6	1.550	34.430	0,71
	63–20μ	76,8	3,5:96,5	Fsp, Ta, Ma	99	29,2	38,9	1,0	125	51,1	1.180	28.560	38,9
	<20μ	83,2	11,1:88,9	Ta, Fsp, Ma	150	56,2	50,5	1,4	139	202	670	29.035	36,1

* Vollaufschluß mit Flußsäure

Asb = Asbest
Ca = Calcit
Do = Dolomit
Fsp = Feldspat
Gl = Glimmer

Ma = Magnesit
Mo = Montmorin
Qz = Quarz
Ta = Talk
Sp. = Spuren



ALTO CHAPARE

- ① Mine Filadelfia
 - ② " San Francisco
 - ③ " Boston
 - ④ " Capilla Pampa
 - ⑤ " Blanca
 - ⑥ " Corpus Cristi
 - ⑦ " Tres Amigos
 - ⑧ " Carolina
 - ⑨ " Elena
 - ⑩ " Minillo
 - ⑪ " El Puente
 - ⑫ " Magdita
 - ⑬ " Aufgelassene Asbestgruben
 - ⑭ " Magnesit
- ① - ⑬ Asbestmine
⑭ Magnesitmine

- OLm_2 Konglomerat Limbo
- OLm_1 Karbonat-Sandsteinabfolge
- Ccm_3 Quarzit- und Sandsteinserien mit Dolomiten
- Ccm_2 Asbest- und magnesitführende Serien
- Ccm_1 Breccie Locotal

0 1 2 3 4 km

Abb. 14
Alto Chapare

bzw. Dolomit-Magnesitbreccien, die durchaus hinsichtlich Magnesits abgebaut werden könnten.

Im stratigraphisch Hangenden der Stufe M_1 folgt eine ca. 320 m mächtige Serie (M_2) von Karbonatgesteinen, Sandsteinen (z. T. quarzitisch entwickelt) und Tonschiefern. In dieser Abfolge treten sowohl die nutzbaren Magnesitlagerstätten als auch die Asbestvorkommen auf. Seinen mineralogischen Charakteristika nach handelt es sich bei dem Asbest um Krokydolith (Ahlfeld 1943), der nach diesem Autor als Produkt der Dynamometamorphose unter thermaler Zufuhr von Magnesium und Eisen zu verstehen ist. Die Mineralisation des Asbestes tritt in Form von Gängen und in Klüften auf und scheint offensichtlich keiner bevorzugten Richtung zu folgen. In der Regel schwankt die Mächtigkeit der Gänge zwischen 0,05 und 15 cm. Der Abbau erfolgt in einer Vielzahl von Kleinbetrieben im Untertagebau (Stollen von 1 m Breite und 1,50 m Höhe). Mittels Handklaubung wird ein Konzentrat von ca. 80% Asbest hergestellt. Im Jahre 1973 betrug die monatliche Asbestproduktion aller Gruben des Alto Chapare rund 40 t (metr.) (Stollenvortriebsleistung 1 m/Mann/Schicht).

Nach Avila (1977, S. 41) sind die Asbestvorkommen das metamorphe Umwandlungsprojekt von ehemaligen Grünschiefern in „taconitas carbonáticas“ die in der „Glaukophan-Riebeckit-Magnesioriebeckit-Augit“-Subfazies vorliegen. Avila zieht hierbei Vergleiche zu japanischen Vorkommen (Iwasaki 1960).

Die Untersuchungen der Verfasser ergaben, daß wohl der Großteil der von Avila und in der Studie

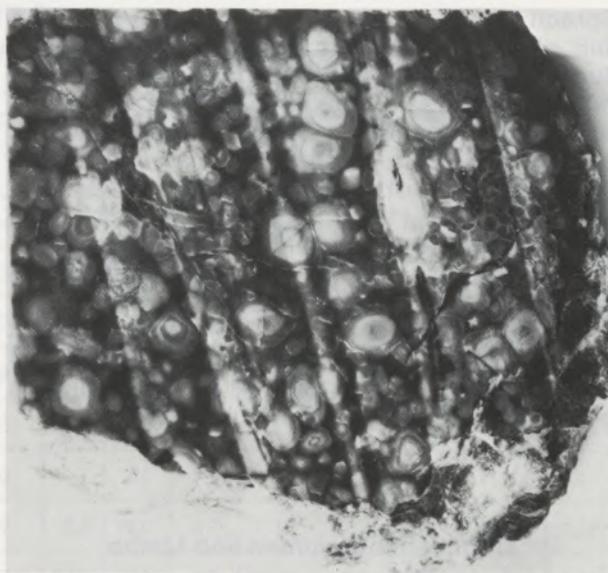


Abb. 15

Danburit-Porphyroblasten in Magnesit
(Mina San Francisco/Chapare, Bolivien)

von PNUD-GEOBOL (1977) erwähnten „Taconite“ nichts mit solchen gemein haben. Gebänderte Sandsteine resp. Quarzite verdanken ihre Bänderung dem Turmalin.

Offensichtlich liegt im Chapare eine Bormineralisation vor, die stark lithofaziell abhängig ist. Turmalinblasten sind stets an sandiges und arkoseartiges Ausgangsgestein gebunden. Hingegen sind für die karbonatisch-sulfatische Basisserie M_1 Idioblasten von Danburit (2 mm bis 1 cm) und

Tabelle 2

Analysen von Magnesiten des Vorkommens Limbo

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
MgO	43,6	80,0	39,50	46,21	40,40	43,67	43,87	42,52	41,62	43,28	43,57	40,20	41,90	42,30	37,52	41,85
CaO	0,7	1,3	2,38	1,15	0,80	0,28	0,44	1,37	0,44	3,39	0,00	0,20	0,00	0,00	Sp.	1,58
SiO ₂	7,5	13,8	11,65	6,04	11,36	0,14	8,50	9,23	12,47	10,74	6,12	10,16	8,06	7,84	11,40	9,09
Al ₂ O ₃	1,3	2,4	Sp.	0,12*	1,36	0,29	0,30	0,38	0,65	0,22	0,30	1,94	0,61	1,44	4,01	1,13
TiO ₂	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,8	1,5	0,42	0,57	0,93	0,72	0,72	0,92	0,76	1,47	1,00	0,91	1,79	1,41	2,00	1,13
CO ₂	-	-	22,8	45,45	42,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Al₂O₃ + TiO₂

- | | |
|--|--|
| <p>(1) Rohmagnesit SI MSA/Cochabamba; Limbo
 (2) Sintermagnesit SI MSA/Cochabamba; Limbo
 (3) Rohmagnesit, Limbo; Labor für Industrieanalysen; Buenos Aires
 (4) Rohmagnesit, Limbo; Salzgitter
 (5) Rohmagnesit, Limbo; COMIBOL, Oruro
 (6) Rohmagnesit, Agua Verde; Körnung 50 mm
 (7) Rohmagnesit, Agua Verde; Körnung 20 mm
 (8) Rohmagnesit, Agua Verde; Körnung 3–5 mm</p> | <p>(9) Rohmagnesit, Agua Verde; Körnung 0,2 mm (Analysen 6–9: Kraljevo/Jugoslawien)
 (10) Rohmagnesit, km 121 (Limbo); GEOBOL
 (11) Rohmagnesit, Limbo km 122, GEOBOL
 (12) Rohmagnesit, Limbo km 121, GEOBOL
 (13) Rohmagnesit, Limbo km 122, GEOBOL
 (14) Rohmagnesit, Limbo km 122, GEOBOL
 (15) Rohmagnesit, Limbo km 122 S, Banco Minero de Bolivia
 (16) Durchschnittswert von 10 Analysen</p> |
|--|--|

Boracit (5 mm) typisch. Ahlfeld (1955) vermutet, daß die Dynamometamorphose analog zur Bildung des Asbestes auch für die Danburitgenese verantwortlich sei. Dagegen gehören unserer Ansicht nach Boracit und Danburit vielmehr in die marine Salzabfolge wie ähnliche Vorkommen aus dem Basalanhydrit des deutschen Zechsteins von Kühn & Bahr (1955) sowie Budzinski et al. (1959) beschrieben wurden. Insgesamt liegt Danburit in dreifacher Ausbildungsform vor: Neben der bereits erwähnten tritt das Borsilikat in Form von Porphyroblasten in Dolomit und Magnesit (Durchmesser bis zu 2 cm) (Abb. 15) auf, und schließlich noch als jüngere Klüftmineralbildung gemeinsam mit Quarz, Ägirin und Calcit.

Magnesitvorkommen von Limbo

Rund 1,5 km südwestlich des Referenzpunktes Limbo (km 125 an der alten Chapare-Straße von Cochabamba nach Villa Tunari, vgl. Abb. 14) befinden sich Magnesitvorkommen in einem Areal von ca. 6 km × 3 km. Die Lagerstätten liegen in einer NNE–SSW streichenden Antiklinalstruktur, die im Bereich der Vorkommen zwischen km 121 und km 125 zusätzlich Faltenachsen senkrecht zum Hauptstreichen aufweisen (s. Kapitel Tektonik). Bedingt durch das Eintauchen der Antiklinalachse nach NW sind höfliche Magnesitvorkommen südlich von Limbo zu erwarten. Die Mächtigkeit der magnesitführenden Serien schwankt zwischen 5 m und 50 m und scheint im Mittel bei 20 m zu liegen. Für die Vorratsberechnung guter Magnesitqualitäten wurde eine Mächtigkeit von 10 m angesetzt. Die Vorräte (Kategorie B) dürften bei 21 Mill. t liegen und verteilen sich über sechs

Konzessionen in einer Höhenlage zwischen 2260 m und 1900 m.

In Tabelle 2 werden die Analysendaten für Limbo-Magnesit sowie des Sinterproduktes (Analyse Nr. 2) angegeben. Bei den vorliegenden Verhältnissen entfällt ca. ein Drittel des Rohmagnesits auf den Sintermagnesit.

Die unsererseits durchgeführten Analysen von Magnesit und Nebengestein sind in Tabelle 3 zusammengefaßt. Der in Salzsäure unlösliche Anteil der Magnesite bewegt sich zwischen 18,5 und ca. 25% (abbauwürdige Qualitäten) und setzt sich zum überwiegenden Teil aus Talk zusammen. Seltener sind Verunreinigungen von Hellglimmern, Gliedern der Montmorin-Gruppe, Feldspat und Quarz.

Karbonatisches Hauptbegleitmaterial ist Dolomit; Calcit tritt sporadisch auf. Charakteristisch sind Rückumwandlungen („Demagnesitierung“) in Dolomit (vgl. Abb. 16). Die Dolomitidioblasten, die sich noch im diagenetisch nichtverfestigten Sediment gebildet haben, wachsen bevorzugt in feinkörnigem Ton-Karbonatschlamm. Charakteristisch sind feingebänderte Magnesite, die häufig mit tonreichen Partien wechsellagern. Die Magnesite von Limbo sind in der Regel feinkörnig (5 bis 15 μ), seltener sind Lagen mit Korngrößen zwischen 60 μ und 100 μ . An den Korngrenzen kommt es häufig zur Neubildung von Talk sowie Illit/Serizit. Der röntgenographische Befund der schlanken 10 Å-Reflexe beweist einen Übergang von Illit zu Serizit, wobei dieser vermutlich noch viel Magnesium besitzt und weit entfernt von der Struktur des Muskowits ist (Millo t 1970). Bezüglich der Metamorphosezone entspräche dies dem Übergangsbereich zur Anchimetamorphose.



Abb. 16

Feingebänderte Magnesite (weiß; Dolomitneubildung infolge Demagnesitierung); Grube Limbo

Tabelle 3

Mineralbestand und Spurenelementverteilung in Magnesiten und Nebengesteinen

Probe Nr.	HCl-unl. (%)	Ca:Mg molar	Mineralbestand	Zn	Ni	Cr	Ag	Sr	Cu	Mn	Fe	Ni/Cr
1	21,6	7,6:92,4	Ma+Ta+Sp.Do	14,2	5,3	2,8	0,6	134	1,8	165	3.690	1,89
2	23,5	0,2:99,8	Ma+Ta	15,9	4,5	3,6	0,4	9	3,1	150	3.840	1,25
3	37,2	0,6:99,4	Ma+Ta, Qz; Sp.; Gl+Mo	27	2,8	4,3	0,4	8	6,3	263	2.590	0,65
4	48,9	26,6:73,4	Ma+Ta, Do, Ca, Gl	49	7,1	7,5	0,6	115	6,9	526	2.900	0,95
5	18,5	0,4:99,6	Ma, Ta (Do)	22	2,0	1,5	0,4	9	8,3	270	2.485	1,33
6	27,3	46,4:53,6	Do+Qz	109	18,7	5,5	1,0	165	4,1	417	1.630	3,4
7	58,0	1,2:98,8	Ta, Qz, Ma	57	8,3	16,0	0,7	27	31	920	17.550	0,52
8	34,9	47,7:52,3	Do, Ta, Gl	7,8	10,6	2,8	0,9	128	5,9	169	275	3,79
9	17,5	43,1:56,4	Do+Qz	22	12,5	4,1	1,1	2.190	9,5	320	2.630	3,12
10	23,9	46,2:53,8	Do+Qz	20	13,6	5,3	1,1	1.620	17,6	500	4.620	2,57
11	26,8	92,8: 7,2	Ca>Do+Qz	28,1	21,5	6,0	1,3	650	13,7	225	9.185	3,58
12	15,0	87,6:12,4	Ca>Do+Qz	25	14,9	3,9	1,2	900	5,2	160	2.370	3,82
13	25,8	50,0:50,0	Ta, Ma, Do	29	11,7	4,5	0,9	885	6,2	1.245	9.300	2,6
14	67,7	50,2:49,8	Qz, Do	159	16,8	6,1	1,4	587	18,9	1.298	8.810	2,75
15	60,2	97,2: 2,8	Fsp, Asb, Ta, Ca	7,3	25,8	3,7	1,5	11.215	56,4	24	824	6,97
16	56,0	27,9:72,1	Fsp, Ta, Ma, Do	42	14,7	8,6	1,0	112	8,8	850	13.450	1,71

Magnesitvorkommen von Minillo und San Francisco

Ca. 1 km NW El Palmar (vgl. Abb. 14) treten im Liegenden der Asbestvorkommen stark umkristallisierte, weiße Karbonatserien auf. Im Bereich des genannten Vorkommens sind ca. 20 m aufgeschlossen. Der Mineralbestand des Lagerstättenbezirkes Minillo besteht zum überwiegenden Teil aus Magnesit. Geringere Anteile von Dolomit und Talk sind vertreten. An untergeordneten Gemengteilen sind Calcit sowie Neubildungen von Hellglimmern und Aragonit – letzterer stets als Hohlräumeausfüllung – zu nennen.

Das Gebiet um Minillo kann als höffig bezeichnet werden. Aufschlußarbeiten müßten längs Schneisen durch den Urwald durchgeführt werden. Als vererzte Fläche kommen mindestens 2 km² in Frage. Hinsichtlich der Infrastruktur sind die Verhältnisse wesentlich günstiger als in Limbo, da das Erz direkt über El Palmar zur neuen Chapare-Straße abtransportiert werden kann.

In der gleichen lithostratigraphischen Einheit (Kambrium, Cristalmayu M₂) konnten Magnesit- ausbisse unweit der neuen Chapare-Straße bei der Asbestgrube San Francisco (vgl. Abb. 14) im

Liegenden der Asbestserien nachgewiesen werden. Die in stark gestörtem Verband auftretenden Karbonatserien erreichen eine Mächtigkeit von ca. 20 m. Rund 5 m entfallen auf reinen, rekristallisierten Magnesit. Die sogenannte „Breccia Local“ (im wesentlichen aus Magnesit, Talk, Dolomit und zum Teil aus Gips und den Bormineralen Danburit und Boracit bestehend) im Liegenden der Karbonatserien bildet einen ausgezeichneten Gleithorizont für die darüberliegenden Serien. Schematisch ist dies in dem Profil (Abb. 13) angedeutet.

Als mineralogische Besonderheit im Bereich der Vorkommen von San Francisco und der Asbestgrube Mina Filadelfia ist das Vorkommen von Danburit, Turmalin, Ägirin und Mikroklin zu werten. Die beiden letztgenannten Minerale weisen auf eine Na- und K-Metasomatose hin, die offensichtlich mit der älteren (herzynischen) Gebirgsbildung in Zusammenhang zu bringen sind. Mikroklin tritt als Neubildung in den dolomitisch-magnesitischen Serien auf, während der Ägirin ein typisches Kluftmineral ist. Auf das Vorkommen von Danburit und Turmalin wurde bereits hingewiesen.

Prinzipiell sind in der gesamten Serie M_2 Dolomit und Magnesit die wesentlichen Karbonate. Die derzeit laufenden Arbeiten beschäftigen sich mit einer systematischen Erfassung sämtlicher Vorkommen im Alto Chapare.

Geochemische Untersuchungen

Über den Chemismus der Neben- und Spurenelemente des Magnesits ist relativ wenig bekannt. Semiquantitative Angaben über ostalpine und spanische Magnesite stammen von Haas (1953) und Meixner (1953). Baumgarth & Dohr (1965) setzen analoge Untersuchungen an griechischen und türkischen Vorkommen fort. Quantitative Bestimmungen von Spurenelementen liegen erst in jüngeren Arbeiten (Quemeneur 1974, Kralik 1977, Franz & Wetzenstein 1977, Wetzenstein & Zachmann 1977), die durch den Einsatz der Atomabsorption-Spektralphotometrie möglich wurden, vor. Im Folgenden soll auf die einzelnen Elemente gesondert eingegangen werden.

Strontium

Die Extremwerte reichen von 9 bis 885 ppm (vgl. Tab. 3). Es zeigt sich deutlich die Proportionalität der Strontiumzunahme mit steigendem Dolomit- resp. Calcit-Anteil. Strontium scheint wohl nicht als genetisches Leitelement für Magnesite verwendbar zu sein. Bestenfalls kann der Sr-Gehalt im Sinne von Bathurst (1971) als Indikator für diagenetische Prozesse herangezogen werden. Analog zu den Untersuchungen von Kralik (1977) scheinen auch die reinen Magnesite des Chapare um 10 ppm Sr zu enthalten. Im Vergleich dazu liegen die Sr-Gehalte plioleistozyäner Magnesitvorkommen des Servia-Beckens um den Faktor 3 höher (Wetzenstein & Zachmann 1977).

Mangan

Zur Feststellung mariner und nicht-mariner Bildung können nach Untersuchungen der Autoren die Mangangehalte herangezogen werden. Nach Weber (1964) beträgt der Mangangehalt in Dolomitgesteinen 237–245 ppm, je nach Tonanteil kann dieser bis zu 640 ppm steigen. Hydrothermal beeinflusste Dolomite haben mittlere Mangange-

halte von 356 ppm. Der Durchschnittswert limnisch-kontinental gebildeter Magnesite liegt bei 47 ppm (Wetzenstein & Zachmann 1977).

Die Magnesite aus den Basisserien (M_1) im Chapare weisen hohe Mangangehalte auf. Nach Ansicht der Autoren ist hier mit einer hydrothermalen resp. postvulkanischen Beeinflussung zu rechnen, da es insbesondere in diesen Serien zur Bildung der Bormineralen Danburit und Boracit kam (vgl. Tab. 3).

Kupfer und Zink

Mit den zur Verfügung stehenden Analysen können noch keine Aussagen gemacht werden. In Kalken betragen die durchschnittlichen Gehalte 20 ppm Zink und 6 ppm Kupfer (Wedepohl 1969). In den untersuchten Magnesiten schwankt Zink zwischen 14–29 ppm und Kupfer zwischen 1,8 bis 8,3 ppm.

Verhältnis Nickel : Chrom

Das Nickel-Chrom-Verhältnis scheint in Magnesiten unterschiedlicher Genese fast gleich zu sein. In den plioleistozyänen Bildungen des Servia-Beckens (Wetzenstein & Zachmann 1977) liegt es bei den Magnesiten um 2. Dort betragen die mittleren Nickelgehalte 19 ppm und die Chromgehalte 10 ppm. Wesentlich höher sind die Gehalte in Magnesiten, die in unmittelbarer Nachbarschaft von Ultrabasiten gebildet wurden (z. B. 853 ppm Nickel aus türkischen Vorkommen (Franz & Wetzenstein 1977)). Die relativ niedrigen Gehalte an Nickel und Chrom in den Magnesiten des Chapare weisen eher darauf hin, daß der Stoffbestand aus dem Meer bezogen wurde.

Danksagung

Die Untersuchungen gehören zu einem der Projekte der Universitätspartnerschaft UMSA-La Paz – FU-Berlin, die von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) der Bundesrepublik Deutschland gefördert wird. Unser Dank gilt gleichfalls der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Für die Mithilfe bei den Geländearbeiten möchten wir uns bei den Herren Oscar León P. und Humberto Trujillo I. aufrichtig bedanken.

Zusammenfassung

Das Untersuchungsgebiet liegt im Chapare, Departamento Cochabamba, Bolivien. Tektonogenetisch gehört es zur sogenannten „Faja Subandina“. Herzynische und andine sowie postandine Beanspruchungen überprägten die kambrischen bis kretazischen Serien:

Achsenrichtungen (herzynische Orogenese):
120° und 30°
Achsenrichtungen (andine Orogenese):
150° und 60°
Jüngere Beanspruchungspläne:
±N-S und ±O-W

Die Magnesite sind an zwei stratigraphisch wohl definierte Einheiten des Kambriums gebunden:

1. „Breccia Locotal“ (Basisserie), Salinarfazies mit Dolomit, Magnesit, Gips sowie untergeordnet Danburit und Boracit.
2. Hangende Karbonatserie bestehend aus Dolomit und Magnesit. Begleitparagenese: Calcit, Talk und wenig Hellglimmer.

Petrologisch interessant ist eine lithologische Kontrolle der Bormineralisation: Bildung von Danburit in Karbonatserien und Schörl-ähnlichem Turmalin in Sandsteinen und Quarziten.

Die hercynische Beanspruchung bewirkte eine Na- und K-Metasomatose (Bildung von Ägirin und Mikroklin) sowie eine Bor-Metasomatose (Bildung von Danburit und Turmalin).

Die Magnesitreserven der bekannten Vorkommen übersteigen mit Sicherheit 20 Mill. t.

Der Kieselsäuregehalt liegt im allgemeinen hoch (über 6%). Dies resultiert aus dem hohen Talkgehalt, der 10% übersteigt. Am geeignetsten für die Magnesiaufbereitung dürfte sich das Flotationsverfahren erweisen.

Summary

The investigations were performed in the region of Chapare, Department Cochabamba, Bolivia. Tectogenetic the region belongs to the so called "Faja Subandina". Cambrian and Cretaceous series are superimposed by Hercynian, Andine and Postandine tectonic stresses:

axial direction (Hercynian orogenesis):

120° and 30°

axial direction (Andine orogenesis):

150° and 60°

younger movements:

±N-S and ±E-W

The magnesites are connected with two very good defined stratigraphic unities of the Cambrian:

1. The "Breccia Locotal" (basisseries), salt facies with dolomite, magnesite, gypsum and little danburite and boracite.

2. Overlying carbonate series consisting of dolomite and magnesite. Accessories: calcite, talc and light mica.

Petrologic very interesting is a lithological control of the boron-mineralization: Formation of danburite in carbonate series, and schorl-similar tourmaline in sandstones and quartzites.

The Hercynian movement results in a Na- und K-metasomatism (formation of aegirine and microcline) and a boron-metasomatism (formation of danburite and tourmaline).

The reserves of magnesite in the known deposits amount to more than 20 mio. tons.

Generally the contents of silica is high (over 6%). This is the result of a high content of talc with more than 10%. Very successful for the treatment of this magnesites can be the flotation concentration.

Résumé

La zone étudiée est située à Chapare, Département de Cochabamba (Bolivie). Du point de vue tectogénétique, elle appartient à la «Faja Subandina». Des plissements hercyniens, andiens et postandiens ont modifié les formations cambriennes et crétaées:

Directions des axes

(orogénèse hercynienne):

120° et 30°

Directions des axes (orogénèse andienne):

150° et 60°

Plans des plissements plus récents:

±N-S et ±E-W

Les giobertites sont liées à deux unités bien définies du point de vue stratigraphique, datant du cambrien:

1. «Breccia Locotal» (formation de base), facies salin avec dolomie, giobertite, gypse et au second plan danburite et boracite.
2. Formation carbonatée en pente douce, consti-

tutée de dolomie et de giobertite. Paragénèse associée: calcite, talc et un peu de mica blanc.

Du point de vue pétrologique il a été intéressant d'effectuer le contrôle lithologique de la minéralisation de bore, c'est-à-dire d'étudier la formation de danburite au sein des roches carbonatées et du schoerl - analogue à la tourmaline - dans les grès et les quartzites.

Le plissement hercynien a provoqué une métasomatose de Na et K (formation d'égirine et de microcline) et aussi une métasomatose du bore (formation de danburite et de tourmaline).

Les réserves de giobertite dans les gisements connus sont très certainement supérieures à 20 millions de tonnes.

La teneur en silice est en général élevée (supérieure à 6%). Elle est due à une forte teneur en talc, dépassant 10%. Le procédé qui conviendrait le mieux à l'obtention de magnésie serait sans doute la flottation.

Resumen

La zona de investigación está ubicada en la región del Chapare, Departamento de Cochabamba, República de Bolivia. Tectogenéticamente corresponde a la llamada «Faja Subandina». Las orogénesis hercínica y andina, así como una fase de plegamiento posterior, se manifiestan en un estilo particular de deformación en rocas desde el cámbrico al cretácico.

Movimientos hercínicos:
ejes de 120 y 30°
Andinos:
ejes con 150 y 60°
Posteriores:
ejes con ±N-S y ±E-W

La magnesita se presenta en dos niveles estratigráficos bien definidos del sistema cámbrico:

1. En la «Brecha Locotal» en una facie salinar con dolomita, yeso y minerales secundarios como danburita y boracita, además tales como un producto de metamorfismo.

2. En la serie de carbonatos se presenta dolomita y magnesita. Entre los materiales secundarios se hallan calcita, talco y trazas de micas claras.

Desde el punto de vista petrográfico es sumamente interesante una mineralización con un control litológico de boro; formación de danburita en rocas carbonáticas y turmalina, en rocas arenosas y cuarcíticas.

La fase hercínica produce un metasomatismo de sodio (formación de egirina), potasio (formación de microclina) y boro (formación de danburita y turmalina).

Las reservas de magnesita en las áreas conocidas seguramente sobrepasan los 20 millones de toneladas.

El contenido de sílice es generalmente alto (más de 6%). Esto se debe a que el porcentaje de talco también alcanza valores que sobrepasan el 10%.

Para la recuperación de la magnesita la utilización del proceso de flotación será la más apropiada.

Literaturverzeichnis

- Ahlfeld, F.: Los Yacimientos de crocidolita en los Yungas de Cochabamba. – Notas Museo La Plata 8, 355–371, 1943.
- : La línea geotectónica «ichilo». – Bo. Inst. Bol. Petrolero, vol. 7, Nr., 2, 1967.
- : Geología de Bolivia. – Enciclopedia Boliviana, 180 S., La Paz, 1972.
- Ahlfeld, F., & J. Muñoz Reyes: Las Especies Minerales de Bolivia. – Banco Minero de Bolivia, 180 S., La Paz, 1955.
- Ahlfeld, F., & A. Schneider-Scherbina: Los Yacimientos Minerales y de Hidrocarburos de Bolivia. – Ministerio de Minas y Petróleos, Bol. Nr. 5, 388 S., La Paz 1964.
- Avila S., W.: La Crocidolita Magnesiana del Chapare. – Rev. Min. Bamin 92, 25–43, La Paz, 1977.
- Bathurst, R. G. C.: Carbonate sediments and their diagenesis. – Developments in Sedimentology, 12, Elsevier, 620 S., Amsterdam 1971.
- Baumgarth, W., & H. Dohr: Spurenelemente in eisenarmen Gelmagnesiten. – Ber. Dtsch. Keram. Ges. 42, 111–117, 1965.
- Brockmann, C.; A. Castaños; R. Suarez & P. Tomasi: Estudio Geológico de la Cordillera Oriental de los Andes en la Zona Central de Bolivia (Región de Chapare). – Soc. Geol. Bol. No. 18, 3–36, La Paz 1972.
- Budzinski, H., R. Langbein & E. Stolle: Danburit im Zechstein des Südhazes. – Chemie der Erde, 20, 53–70, 1959.
- Bustamante B., J.: Minerales No Metálicos. – E. Universitaria Oruro-Bolivia, 198 S., Oruro 1976.
- Cabrera, A., & C. Brockmann: Estudio fotogeológico y estratigráfico del Chapare, Zona Limbo – Villa Tunari. – Unveröffentl. Studie Y.P.F.B., La Paz 1964.
- Chamot G., A.: Stratigraphy and Structure of the Foothills Belt adjacent to our Zone II Holdings and probable Zone II section to be drilled. – Unveröffentl. Studie BOGOC, Santa Cruz (Bolivia) 1961.
- Frankl, J.: La «Formación Limbo». – Bol. Tecn. Y.P.F.B. II, 5, La Paz 1959.
- Franz, E.-D., & W. Wetzenstein: Magnesiumkarbonatische Sedimente im mittleren und östlichen Mittelmeerraum. – Radex-Rdsch. 1977/1, 50–51, Radenthein 1977.
- GEOBOL – P.N.U.D.: Proyecto Asbesto. – Unveröffentl. Studie des Servicio Geológico de Bolivia und der Vereinten Nationen, La Paz 1977.
- Haas, H.: Die Begleitelemente in rhomboedrischen Karbonaten. – Radex-Rdsch. 1953/7–8, 459–467, Radenthein 1953.
- Iwasaki, M.: Colorless glaucophane and associated minerals in quartzose schists from Eastern Sikoku, Japan. – Journ. Geol. Soc. Japan 66, 566–574, 1969.
- Kralik, M.: Verbreitung und Genese der Magnesitlagerstätte von Eugui (Asturreta), W-Pyrenäen/Spainien. – Dissertation an der Formal- und Naturwissenschaftl. Univ. Wien, 179 S., Wien 1977.
- Kühn, R., & A. Baar: Ein ungewöhnliches Vorkommen von Danburit. – Kali und Steinsalz 1, H. 1, 17–21, 1955.
- Martinez, C.; R. Suarez & T. Subieta: La cadena hercínica en la parte septentrional de la Cordillera Oriental de los Andes bolivianos. – Bol. GEOBOL Nr. 15, 26–35, La Paz 1971.
- Meixner, H.: Zur Verteilung der Begleitelemente in rhomboedrischen Karbonaten. Radex-Rdsch. 1953/7–8, 468–470, Radenthein 1953.
- Millot, G.: Geology of clays. Weathering, Sedimentary, Geochemistry. – XVI+425 S., (Springer) New York – Heidelberg – Berlin 1970.
- Rod, E.: Strike-slip fault of continental importance in Bolivia. – Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 44, 1, 107 und 108, Tulsa 1960.
- Schlagintweit, O.: Resultados de los estudios en la zona del Chapare. – Unveröffentl. Studie 1939.
- Vargas, C., & O. Mariaca: Informe sobre la geología del sector meridional de la faja subandina del Norte y una pequeña parte de la faja subandina central. – Unveröffentl. Studie der Y.P.F.B., La Paz 1966.
- Weber, J. N.: Trace elements composition of dolostones and dolomites and its bearing on the dolomite problem. – Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1817–1868, Oxford, London 1964.
- Wedepohl, K. H.: Geochemie. – 220 S., (de Gruyter), Berlin 1969.

Wetzenstein, W.: Magnesita. - Revista Minera Bamin 91, 28-59, La Paz 1977.

-: Die nichtmetallischen mineralischen Rohstoffe Boliviens. - Zeitschr. d. Deutsch-Bolivianischen Handelskammer, III/1977, 33-40; IV/1977, 21-28; I/1978, 1-9, La Paz 1977/78.

-: Depósitos Limnico-Sedimentarios de Magnesita en la Cuenca de Servia/Grecia. - Vortrag anlässlich des 18. Jahrestages der Gründung der Geolog. Fakultät der Universität Tomas Frias, Potosi, 1977 (in Druck)

Wetzenstein, W., & D. Zachmann: Sedimentäre magnesium-karbonatische Bildungen im Servia-Becken/Nordgriechenland. - Radex-Rdsch. 1/1977, 29-49, Radenthein 1977.