

Mitt. österr. geol. Ges.	78 (1985) Festschrift W. E. Petrascheck	S. 115-124 2 Abb.	Wien, 11. März 1986
--------------------------	---	----------------------	---------------------

## Chromerzlagerstätten auf den Philippinen

Von Walter NIEDERMÜLLER und Jürgen KEGLER\*)

Mit 2 Abbildungen

### Zusammenfassung

Nach einem geologischen Überblick und der Charakterisierung der philippinischen Chromerzvorkommen werden typische Beispiele für primäre und sekundäre Lagerstätten beschrieben.

Wichtigste Vertreter primärer Lagerstätten auf den Philippinen sind die Lucopan Mines (Acoje Mining Company, Inc.) und Coto Mine/Masinloc (Benguet Cons. Inc.). Geologische Situation, Erztypen, Vorräte und Aufbereitung werden umrissen. Als sekundäre Lagerstätten gelten Seifen- und Verwitterungslagerstätten. Letzteren wird zunehmend Aufmerksamkeit gewidmet, da sowohl die Gewinnung als auch die Aufbereitung zu Konzentraten problemlos ist. Es werden Beispiele für autochthone und allochthone Chromitböden gegeben.

### Summary

Geological overview and characteristics of Philippine chrome ore deposits. Typical examples of primary deposits are described such as Lucopan Mines (Acoje Mining Company, Inc.) and Coto Mine/Masinloc (Benguet Cons. Inc.) including geological situation, ore types, reserves and beneficiation processes.

Secondary deposits as placers and supergene deposits (autochthone and allochthone chromite soils) became of greater interest in the last decade because of their uncomplicated behaviour in mining and concentrating. Examples are described.

### 1. Einführung

Die Anfänge des philippinischen Bergbaus reichen zurück in die vorspanische Zeit. Alte Berichte erwähnen regen Handel mit Kupfer und Edelmetallen zwischen dem philippinischen Archipel und dem chinesischen Festland. Die Gewinnung von Edelmetallen blieb auch in der spanischen Kolonialzeit sowie in den ersten Jahren der amerikanischen Herrschaft Schwerpunkt der bergbaulichen Aktivitäten.

Erst nach dem 1. Weltkrieg begann sich der Bergbau auszuweiten, in nennenswertem Umfang zunächst auf die Metalle Kupfer und Eisen.

Obwohl Chromerze entsprechend der weiten Verbreitung ultrabasischer Gesteine über einen Großteil der philippinischen Inselwelt verteilt sind, wurde Chromit als Mineral erst relativ spät, im Jahre 1912, gefunden.

\*) Adresse der Verfasser: Dr. mont. Walter NIEDERMÜLLER und Dr. Jürgen KEGLER, Exploration und Bergbau GmbH, Steinstr. 20, D-4000 Düsseldorf.

Als erste Chromerzlagerstätte wurde 1925 bei Kartierungsarbeiten des Philippine Bureau of Science die noch heute größte Lagerstätte keramischen Chromits entdeckt. Danach wurden in rascher Folge weitere Lagerstätten gefunden. Ende der zwanziger Jahre erreichte die durchschnittliche Chromerzproduktion mit 30.000 t im Jahr eine Höhe, die das Land auf den 10. Platz der 22 nennenswerten Erzeugerländer brachte.

In den sechziger Jahren erreichten die Philippinen mit einer durchschnittlichen Jahresproduktion von 0,5 Mio. t den 3. Platz nach der Sowjetunion (1,3 Mio. t) und Südafrika (1,0 Mio. t).

Seitdem fiel die jährliche Chromerzproduktion kontinuierlich und erreichte in 1983 den bisherigen Tiefstand von 284.000 t.

Die Ursachen für das Absinken der philippinischen Chromerzproduktion ist sicher nicht nur in der anhaltenden weltweiten Stahlkrise zu suchen. Sie liegen auch in der Natur der Lagerstätten.

Zwar gibt es auf den Philippinen Chromerze, die qualitativ zu den besten der Welt zählen, doch ist durch fortgeschrittene Aufbereitungstechnik die Bedeutung natürlicher Mineralanreicherungen bei der wirtschaftlichen Beurteilung von Lagerstätten immer mehr in den Hintergrund getreten: Armerzlagerstätten in günstigen Standorten, die die Möglichkeiten bieten, über einen längeren Zeitraum Konzentrate von gleichbleibender Qualität zu liefern, sind heute für den langfristig planenden Verbraucher wichtiger als kleine Reicherzlagerstätten mit überdurchschnittlichen, natürlichen Qualitäten.

Die philippinischen Lagerstätten gehören im wesentlichen der Kategorie von kleinen, reichen Einzelvorkommen an. Lediglich zwei Lagerstätten haben größere Ausmaße, COTO bei Masinloc (Zambales) mit über 8 Mio. t Reich- und Armerz, gleichzeitig größte bekannte Lagerstätte keramischen Chromits und LUCOPAN bei Sta. Cruz (Zambales), mit ca. 6 Mio. t Reich- und Armerz größte Lagerstätte metallurgischen Chromits auf den Philippinen.

Darüber hinaus stellen Armerze in lateritischen Böden wegen der leichten Aufarbeitbarkeit ein interessantes Potential für hochwertige Chromerzkonzentrate dar.

Die derzeit auf den Philippinen bekannten Chromerzvorräte beziffern sich auf ca.

22 Mio. t metallurgisches Erz
<u>13 Mio. t refraktäres Erz</u>
35 Mio. t.

Diese Vorräte können als Minimalreserven gewertet werden. Bei systematischer Prospektion ließen sich die Chromerzvorräte bedeutend erhöhen.

## 2. Geologischer Überblick

Die philippinische Inselgruppe ist Teil der zirkumpazifischen Orogene, zu denen auch die jungen Faltengebirge der südamerikanischen Anden und der nordamerikanischen Rocky Mountains gehören. Im Unterschied zu diesen ist der geologische Aufbau der Philippinen aber wesentlich geprägt durch die weite Verbreitung ultrabasischer Gesteine.

Die über 7000 Inseln der Philippinen können drei tektonischen Großeinheiten zugeordnet werden (Abb. 1),

der Nord-Palawan-Plattform,  
der Nordwest-Borneo-Geosynklinale und  
dem Philippinischen Falteingürtel.

Sie werden im Westen vom Südchina-See-Becken, im Osten vom Philippinen-Graben und im Süden vom Celebes-See-Becken begrenzt.

Die Nord-Palawan-Plattform stellt mit ihren jungpaläozoischen bis jurassischen Metamorphiten den ältesten Teil des philippinischen Archipels dar.

Im SW schließt sich die Nordwest-Borneo-Geosynklinale an. Sie enthält oberkre-tazische bis frühtertiäre Gesteine, zu denen auch die chromitführenden Ultrabasite von Zentral-Palawan gehören. Daneben kommen Kupfer- und Zinkmineralisationen vor, sowie bedeutende lateritische Nickellagerstätten.

Der weitaus größte Teil der Landfläche wird vom Philippinischen Falteingürtel aufgebaut. Die ältesten Gesteine sind oberjurassische Klastika und intermediäre bis saure Vulkanite.

Während der Oberkreide begann die Aktivität des basischen und ultrabasischen Magmatismus, die bis ins Paleozän andauerte.

Die während der Heraushebung des Orogens einsetzende Flyschsedimentation reichte bis ins mittlere Miozän. In diese Phase fällt ein dazitischer und andesitischer Vulkanismus. Der Plutonismus wird von Dioriten und Quarzdioriten im frühen Oligozän repräsentiert. Die sedimentäre Folge dieser Zeit beinhaltet vorwiegend Flysch- und Molassegesteine.

Der finale Vulkanismus dauert bis heute an.

Während der ältere tektonische Zyklus vom Jungpaläozoikum bis zum Jura (Nord-Palawan-Plattform) außer kontaktmetamorphen Eisenerzlagerstätten, Goldmineralisationen und Manganschiefer lagerstättengenetisch unbedeutend ist, weist der jüngere tektonische Zyklus (Nordwest-Borneo-Geosynklinale und Philippinischer Falteingürtel) die gesamte Lagerstättenpalette von Bunt- und Edelmetallen, sowie Stahlveredlern auf.

### 3. Charakteristik der philippinischen Chromitvorkommen

Die philippinischen Chromitlagerstätten können folgendermaßen kurz beschrieben werden:

- Grundprinzip der Genese ist die fraktionierte Kristallisation und gravitative Kristallabseigerung in basischen Magmen des initialen Magmatismus im Sinne PETRASCHECKS (1957) und BORCHERTS (1961).
- Sie gehören zum Typ der podiformen Lagerstätten mit überwiegend kleinen Erzkörpern und einer Fülle unterschiedlicher Erscheinungsformen, analog zu anderen Chromitbezirken der alpidischen Gebirgsbildungsära.
- Auffallend für die chromitführenden Ultrabasitmassive ist ihre Lage am Rande der Inseln und damit ihre Nachbarschaft zu den peripheren Tiefseeerben.
- Ein lagiges Gefüge ist oft auch an kleineren Erzkörpern zu erkennen. Es entspricht im wesentlichen dem lagigen Bau des magmatischen Nebengesteins.

- Der vorherrschende philippinische Erztyp ist ein massiges, grobkörniges Reicherz.
- Armerze sind wenig verbreitet.

#### 4. Beschreibung der wichtigsten Lagerstätten

Chromerzlagerstätten sind auf den Philippinen von zehn Regionen bekannt (vgl. Abb. 1):

1. Sierra Madre (Luzon)
2. Zambales Range (Luzon)
3. Mindoro
4. Camarines Sur
5. Eastern Samar
6. Dinagat
7. Misamis Oriental (Mindanao)
8. Bukidnon (Mindanao)
9. Halbinsel Pujada (Mindanao)
10. Zentral-Palawan.

Aus diesen Gebieten wiederum sind beim Philippinischen Bergamt ca. 100 Einzel-lagerstätten gemeldet. Viele davon sind lediglich als Fundpunkte anzusehen.

Die Beschreibung beschränkt sich daher auf ausgewählte Lagerstätten als charakteristische Vertreter der primären und der sekundären Typen.

Von den bisher bekannten Chromitvorkommen sind 90% primäre magmatische Anreicherungen, 10% Verwitterungslagerstätten und Seifen.

Dieses Verhältnis mag sich in Zukunft zugunsten der sekundären Lagerstätten verschieben, da bisher nur wenig Bergbautreibende die Konzentraterzeugung aus Verwitterungsböden und Seifen als lohnend erkannt haben. Dies wiederum lag am Chromitmarkt, der für Kleinbetriebe ohne Lieferverträge bis in die siebziger Jahre ausschließlich ein Markt für stückige Reicherze war.

Die Konzentratherstellung aus sekundären Armerzen, so einfach sie auch ist, verlangt jedoch ein Minimum an Infrastruktur sowie den Einsatz von Maschinen.

##### 4.1. Primäre Lagerstätten

Über die Hälfte aller Chromitvorkommen auf den Philippinen liegen im Ultrabazitkomplex der Zambales Range. Hier wiederum sind ca. 90% der Chromitlager zu 2 Zügen gruppiert (Abb. 2):

- Ein  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -reicher Zug mit metallurgischem Chromit verläuft durch das Acoje-Gebiet und biegt westwärts um, einem Peridotit/Gabbro-Kontakt folgend.
- Ein tonerdereicher Zug begleitet weiter südlich, von Coto und Chromitreservat Nr. 1 ausgehend, den Kontakt Peridotit/Gabbro.

Die Zambales Range ist das einzige Gebiet, in dem bisher Anzeichen einer Gesetzmäßigkeit der Chromitvorkommen zu beobachten sind: Die Erze liegen im Peridotit oder Dunit, vorwiegend in Kontaktnähe zu gabbroiden Gesteinen. Bei der Suche nach neuen Lagern könnte dies hilfreich sein.

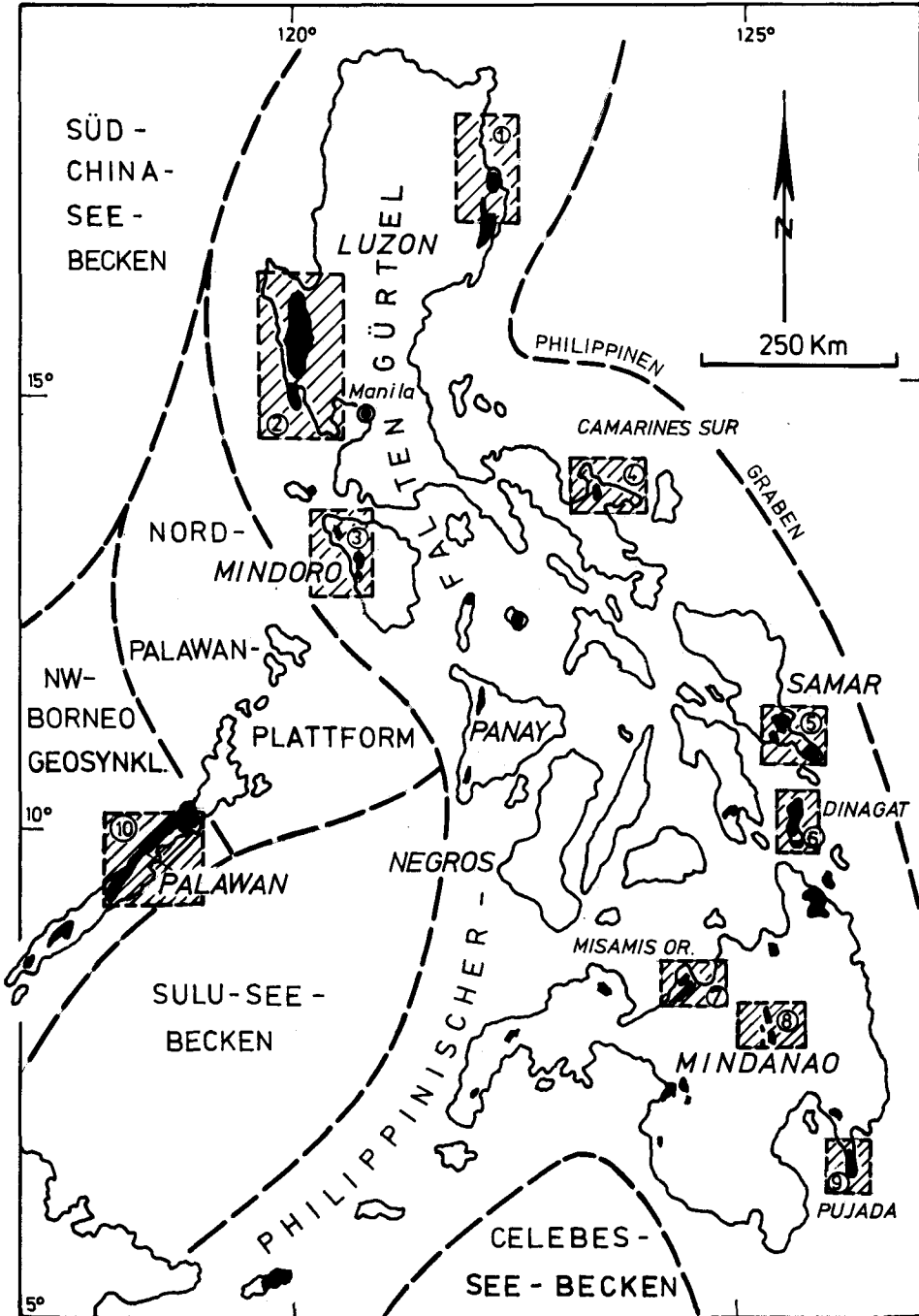


Abb. 1: Großtektonische Situation der Philippinen.  
Lage der Ultrabasitkomplexe (schwarz) und der bekannten Chromerzvorkommen.

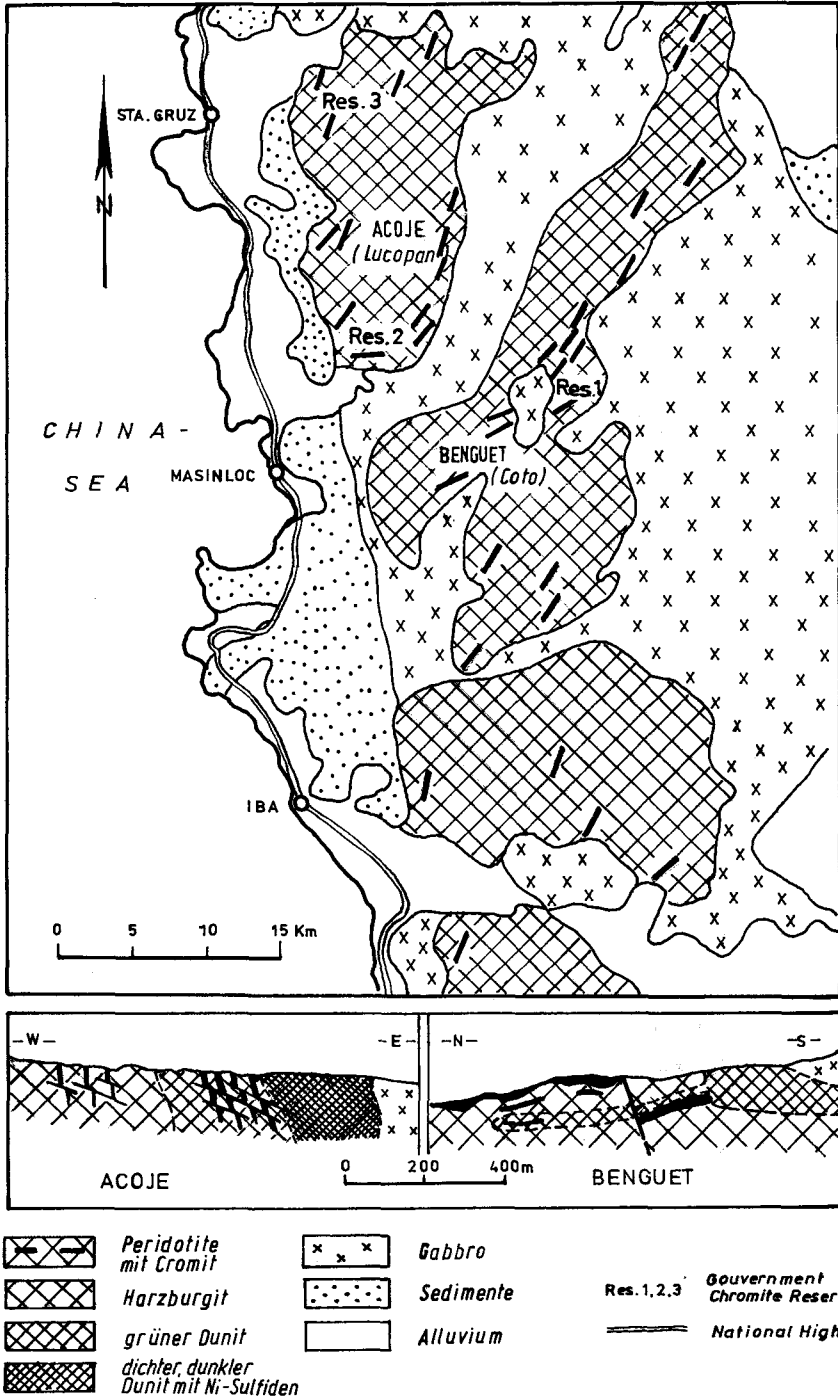


Abb. 2: Geologische Übersicht der Zentralen Zambales Range/Luzon.

#### 4.1.1. *Lucopan Mines (Acoje Mining Company, Inc.)*

Regional gesehen liegt der Schwerpunkt der Vererzung mit metallurgischem Chromit im Gebiet der Acoje-Claims. Hier finden sich mehrere  $\pm$  parallel verlaufende, flözartige Erzkörper, von zahlreichen Querstörungen horizontal und vertikal versetzt. Das Erscheinungsbild der Erzkörper ist nicht typisch podiform wie sonst überall auf den Philippinen. Es ähnelt einem Übergangstyp zwischen podiformer und stratiformer Lagerstätte.

Nach N und S hin lösen sich die flözartigen Lager in einzelne, unregelmäßig streichende Erzlinien- und Schlieren auf.

Dunite mit Nickelsulfiderzen begrenzen im E das Chromitrevier.

#### Erztypen und Vorräte

Die subparallelen, meist tabularen, bis zu 10 m mächtigen Erzkörper setzen sich aus 4 Erztypen zusammen:

1. Bändererze (banded ore)
2. Sprenkelerz (disseminated ore)
3. Derberz (massive ore)
4. Gangerz (stringer ore).

Zum 1. 1. 1984 werden 5,8 Mio. t Roherz mit einem Durchschnittsgehalt von 17%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  angegeben (SCHATZLMAIER & BERMUDEZ, 1985). Davon werden 4,2 Mio. t als bergbauulich gewinnbar angesehen.

Darüber hinaus sind weitere 1 Mio. t als wahrscheinliche und mögliche Vorräte im N der Grube sowie unterhalb des jetzigen Nachweisniveaus vorhanden.

#### Aufbereitung

Über ein System von Brechern, Sieben, Schraubenklassierern, Stabmühlen, Schüttelherden und Humphrey's Spiralen wird aus dem Aufgabereiz mit 12%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ein Konzentrat folgender Charakteristik erzeugt:

<i>Chemismus</i>
48% $\text{Cr}_2\text{O}_3$
12% $\text{Al}_2\text{O}_3$
15% MgO
6% $\text{SiO}_2$
2.3 : 1 Cr/Fe

Bei einem  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt der Berge von 3% beträgt das Metallausbringen 78%.

Der größte Teil des erzeugten Konzentrats (Tagesproduktion ca. 300 t) wird an die Ferrochromhütte in Mindanao geliefert, wo es nach Pelletierung zu Charge Chrome verarbeitet wird.

#### 4.1.2. *Coto Mine/Masinloc (Benguet Cons. Inc.)*

Die bei weitem größte Grube ist seit 1934 in Betrieb und hat seither ca. 17 Mio. t Roherz abgebaut. Spitzenproduktionen an Versanderz (Stückerze und Konzentrate)

erreichten in den siebziger Jahren 0,5 Mio t/a. 1983 wurden 396.000 t Roherz zu 107.000 t Konzentrat verarbeitet (BAILEY, 1984).

Die unregelmäßig bis linsenförmig ausgebildeten Erzkörper können erhebliche Größe erreichen. Coto ist mit ursprünglich 550 m × 400 m × 100 m der größte podiforme Chromiterzkörper der Erde.

Jüngere basische Ganggesteine durchsetzen die Erzkörper. Sie stellen den Hauptanteil der Verunreinigung des Roherzes dar.

### Erztypen und Vorräte

Hinsichtlich der Verwachsung mit Fremdmineralen können zwei Erztypen unterschieden werden:

- Derberz (massive ore) und
- Sprenkelerz (disseminated ore).

Derberz ist ein massiges, teils breckziöses Reicherz ohne wesentliche Verunreinigungen mit Fremdmineralen (ca. 10%). Es ist gewöhnlich scharf gegenüber den Sprenkelerzen wie auch dem Nebengestein abgegrenzt.

Das Chromitmineral ist ein  $Al_2O_3$ -reicher Chromspinnell, der damit nicht für metallurgischen Einsatz, sondern für die Herstellung hochfeuerfesten Materials geeignet ist.

Die Roherzreserven wurden 1981 mit 8,2 Mio. t angegeben. Da in dieser Zeit ein größeres Untersuchungsprogramm, insbesondere auf tiefer gelegene Erzkörper, begonnen wurde, ist anzunehmen, daß die neu nachgewiesenen Vorräte, die in den letzten drei Jahren abgebauten Roherzmengen zumindest ausgleichen.

### Aufbereitung

Das Derberz entspricht im Chemismus bereits der Garantieanalyse für Versand-erz. Es braucht somit nur gebrochen und nach Vorreinigung am Leseband durch Schwertrübescheidung (Ferrosilizium) von Nebengesteinsbrocken gesäubert zu werden.

Das Sprenkelerz ist jedoch stark mit silikatischen Mineralen verwachsen und muß erst zu einem verkaufsfähigen Konzentrat angereichert werden.

Die Versanderze hatten in der Vergangenheit folgenden Durchschnittschemismus:

	Stückerze		Konzentrate		
	Reg. Lump	Fine Lump	+10 mesh	-10 mesh	-100 mesh
$Cr_2O_3$ %	31,8	31,1	32,1	33,2	35,5
$Al_2O_3$ %	26,5	26,9	26,5	27,2	28,0
Fe %	10,3	10,2	10,7	11,5	12,3
$SiO_2$ %	6,4	6,4	5,9	4,4	1,9



#### 4.2. Sekundäre Lagerstätten

Als sekundäre Lagerstätten sollen hier solche verstanden werden, in denen das zu gewinnende Mineral sich nicht mehr im ursprünglichen Gesteinsverband befindet. Somit können zwei Lagerstättensubtypen unterschieden werden:

- Seifen und
- Verwitterungslagerstätten.

##### 4.2.1. Seifenlagerstätten

Bei der Entstehung der Seifenlagerstätten spielen die Strömungsverhältnisse im Strandbereich eine besondere Rolle. In der Bucht von Palanan (Nord-Luzon) wird die Entstehung der Strandseifen von der vorherrschenden Windrichtung aus NE und der damit im Zusammenhang stehenden küstenparallelen Strömung begünstigt. Die Strömung verläuft zunächst N-S entlang dem Ultrabasitmassiv der nördlichen Sierra Madre, nimmt dort die von der Verwitterung freigelegten und zur Küste verfrachteten Chromitkörner auf und läßt die Mineralfracht in der Bucht von Palanan wieder ab. Auf diese Art ist eine Armerzlagerstätte mit durchschnittlich 6%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  entstanden. Da der Chromit bereits als Einzelmineral aufgeschlossen vorkommt, ist eine Anreicherung zu verkaufsfähigen Konzentraten mit einer Kombination von Magnetscheidung und gravitativer Trennung (z. B. Humphrey's Spiralen oder Reichert-Cones) problemlos durchzuführen.

Auf der Halbinsel Pujada findet die Anreicherung des von dem Flußsystem südlich Nangan aus dem Chromitgebiet des Mt. Kabunulan herantransportierten Verwitterungsmaterials zu einer Strandseife mit 5%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  durch die oszillierende Strömung der Gezeiten statt. Die aufbereitende Wirkung der Gezeitenströmungen ist durch die Trichterwirkung in der Bucht von Davao besonders ausgeprägt.

##### 4.2.2. Verwitterungslagerstätten

Die Verwitterungslagerstätten stellen Anreicherungen bzw. Mineralfreilegung durch bodenbildende Prozesse dar. Somit kann man zwei Subtypen unterscheiden:

- a) autochthone Chromitböden und
- b) allochthone Chromitböden.

a) Die Chromitböden entwickelten sich auf Ausbissen chromitführender Ultrabasite. Entsprechend der klimatischen Bedingungen im tropischen Wechselklima und der geomorphologischen Position sind sie als Lateritböden ausgebildet. Dabei entstanden größere, aber chromitärmere Lagerstätten über Ultrabasiten mit disseminiert verteilten Chromitmineralen, wie im Mt. Beaufort-Gebiet von Palawan oder auf der Insel Dinagat.

Ein kürzlich untersuchtes Großvorkommen vom Typ Verwitterungslagerstätten wird von KATER et al. (1984) aus Eastern Samar beschrieben.

Es handelt sich um Lateritböden, die sich zwar überwiegend auf Ultrabasiten mit disseminierten Chromit entwickelt haben. Da jedoch im Muttergestein auch podiforme Reicherzkörper vorhanden sind, konnten bei der Untersuchung Reicherzzonen abgegrenzt werden, die über 30%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  enthalten. Das gesamte, als lateritische Chromitlagerstätte ausgewiesene, Gebiet enthält ca. 6%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

b) Ein gutes Beispiel von allochthonen Chromitböden ist ein Vorkommen SW von Puerto Princesa auf Palawan. Die Lagerstätte enthält zwischen 1% und 10%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (FRIEDRICH et al., 1980) und hat sich auf dem Geröllhorizont des Schuttfächers im Einflußbereich des Malatgao River entwickelt.

Der chromitführende Geröllhorizont ist im oberen Bereich bis zu ca. 10 m Teufe stark zersetzt. Aus der heterogenen Zusammensetzung des Geröllfächers resultieren die starke Wechselhaftigkeit der Chromitführung sowie die relativ geringen Durchschnittsgehalte der Lagerstätte (1,3%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  im Ostfeld und 5%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  im Westfeld).

Trotz dieser geringen Gehalte können auch solche Lagerstätten bergbaulich von Interesse sein, da wegen der weichen Konsistenz des zersetzten Gesteins sowohl die Gewinnung des Roherzes als auch die Anreicherung zu verkaufsfähigen Konzentraten kostengünstig und ohne technische Schwierigkeiten möglich ist.

### Literatur

- BAILEY, J.: The Philippines – a company roundup. – Mining Magazine, Nov. 1984, 460–467, 1984.
- BORCHERT, H.: Zusammenhänge zwischen Lagerstättenbildung, Magmatismus und Geotektonik. – Geol. Rdsch., 50, 131–165, 1961.
- FRIEDRICH, M. et al.: Chromit in lateritischen Böden als potentielle Lagerstätten-Vorräte in den Philippinen. – Schr. GDMB, 35, 65–94, 1980.
- KATER, N. et al.: A Method of Exploration for Lateritic and Bed-Rock Chromite Mineralization Used in the Philippines. – Econ. Geol., 79, 372–381, 1984.
- PETRASCHECK, W. E.: Die genetischen Typen der Chromerzlagerstätten und ihre Aufsuchung. – Erzmetall, 10, 264–272, 1957.
- SCHATZLMAIER, P. R. und BERMUDEZ, M. B.: Mining of Chromite in the Philippines – the Acoje experience – Asian Mining, 1985, Inst. Mining and Metallurgy, 59–64, 1985.
- STOLL, W. C.: Geology and Petrology of the Masinloc Chromite Deposit, Zambales, Luzon, Philippine Islands. – Bull. geol. Soc. Amer. 69, 419–448, 1958.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 25. April 1985.