

# Hochgrößen und Kraubath — Teile eines paläozoischen Ophiolit-Komplexes

E. F. STUMPFL und A. EL AGEED

Mit 5 Abb. und 1 Tab.

## 1. Einleitung

Im Zuge der Erfassung und Untersuchung von Vorkommen mineralischer Rohstoffe in der Steiermark wandte sich auch den möglichen Konzentrationen von Chrom und Nickel besonderes Interesse zu. Diese, durchwegs an ultrabasische Gesteine gebundenen Elemente sind von besonderer strategischer Bedeutung; bauwürdige Vorkommen sind zur Zeit in Österreich nicht bekannt. Hauptproduzenten von Chromerzen sind Südafrika, die Türkei, die Philippinen und die Sowjetunion; Nickelvorkommen werden vorwiegend in Kanada, in Neukaledonien und in der Sowjetunion abgebaut. Voraussetzung für eine sinnvolle Exploration auf diese Elemente ist die detaillierte Kenntnis jener Gesteine, die als Muttergesteine der betreffenden Lagerstätten in Frage kommen.

In diesem Sinne wurde zunächst das ultrabasische Massiv des Hochgrößen bei Rottenmann für eine detaillierte geowissenschaftliche Untersuchung (Beginn: Sommer 1976) ausgewählt; angesichts bedeutender Ähnlichkeiten im geologischen Vorkommen und in der Gesteinszusammensetzung wurden die Untersuchungen dann auch auf das bekannte ultrabasische Massiv von Kraubath ausgedehnt, in dem bis in die zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts Bergbau auf Chromerz umging. In den letzten Jahren hat zunehmend die Erkenntnis Gewicht gewonnen, daß rohstoffbezogene Untersuchungen nur dann Hoffnung auf Erfolg haben, wenn sie ein möglichst vielfältiges Spektrum geowissenschaftlicher Disziplinen beinhalten und sich nicht auf diese oder jene Spezialuntersuchung beschränken. So wurde das zum Teil im hochalpinem Gelände liegende Massiv des Hochgrößen zunächst durch eine geologische Detailkartierung erfaßt. Daran schloß sich eine systematische Probenahme in den Ultrabasiten und ihren Hüllgesteinen an. Die besten Aufschlüsse liegen in schwer zugänglichen Bachrinnen, die von der Gipfelregion des Hochgrößen (2119 m) in das Tal von Oppenberg hinunterziehen.

Das aufgesammelte Probenmaterial wurde zunächst einer sorgfältigen petrographischen Untersuchung zugeführt, die Informationen über den Mineralbestand lieferte. Opake Minerale, vor allem Mitglieder der Spinellgruppe, und hier wiederum Chromite, bilden einen wesentlichen Bestandteil der Ultrabasite und sind stellenweise in Schlieren und Bändern konzentriert. Die opaken Phasen wurden im Auflicht untersucht; qualitative Tests ließen bereits Schwankungen im Reflexionsvermögen der Spinelle erkennen. Diese wurden sodann durch qualitative Reflexionsmessungen in monochromatischem Licht weiter ausgebaut.

Eine große Anzahl von Gesteins-Vollanalysen wurde mit der Röntgenfluoreszenz (RFA) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, daß sich die durchwegs magnesiumrei-

chen Ultrabasite des Hochgrößen als Material des Erdmantels interpretieren lassen. Umfangreiche Analysen der Spurenelemente bekräftigen diesen Befund; zur Klärung der geochemischen und geotektonischen Position dieser Gesteine trugen schließlich mit Neutronenaktivierung durchgeführte Analysen der seltenen Erdgehalte bei. Von besonderem Interesse waren die Ergebnisse von Mikrosondenanalysen in Spinellen; die relativ magnesium- und aluminiumreichen Chromit-Spinelle, die im Hochgrößen-Massiv vorherrschen, entsprechen in ihrer Zusammensetzung den in dem Cumulus-Partien von Ophioliten vorkommenden.

Die hier aufgezeigten Untersuchungsmethoden wurden zu Vergleichszwecken auch auf das ultrabasische Massiv von Kraubath angewendet. Unterschiede zeigen sich vor allem in der Gesteinszusammensetzung (Kraubath: Dunite und Harzburgite; Hochgrößen: Dunite und Gabbros) sowie in der Zusammensetzung der Spinelle und in der Verteilung der seltenen Erdelemente. Zusammenfassend ist zu sagen, daß auf Grund umfassender geowissenschaftlicher Untersuchungen die ultrabasischen Massiv von Kraubath und Hochgrößen als Teile eines im Zuge tektonischer Vorgänge in einzelne Schuppen und Schollen aufgelösten Ophiolitkomplexes zu interpretieren sind. Dabei entspricht Kraubath dem Residuum, Hochgrößen hingegen dem Cumulatanteil. Im folgenden wird kurz auf die wichtigsten Ergebnisse unserer Arbeiten hingewiesen; weiteres Datenmaterial wurde bzw. wird an anderer Stelle publiziert. (EL AGEED et al. 1979, 1980).

## 2. Geologie

Die ultrabasischen Massiv von Hochgrößen und Kraubath liegen, zusammen mit einer Anzahl kleinerer ultramafischer Körper, auf einer WNW-streichenden Linie, die nördlich von Graz beginnt und sich bis in die Rottenmanner Tauern fortsetzt (Abb. 1).

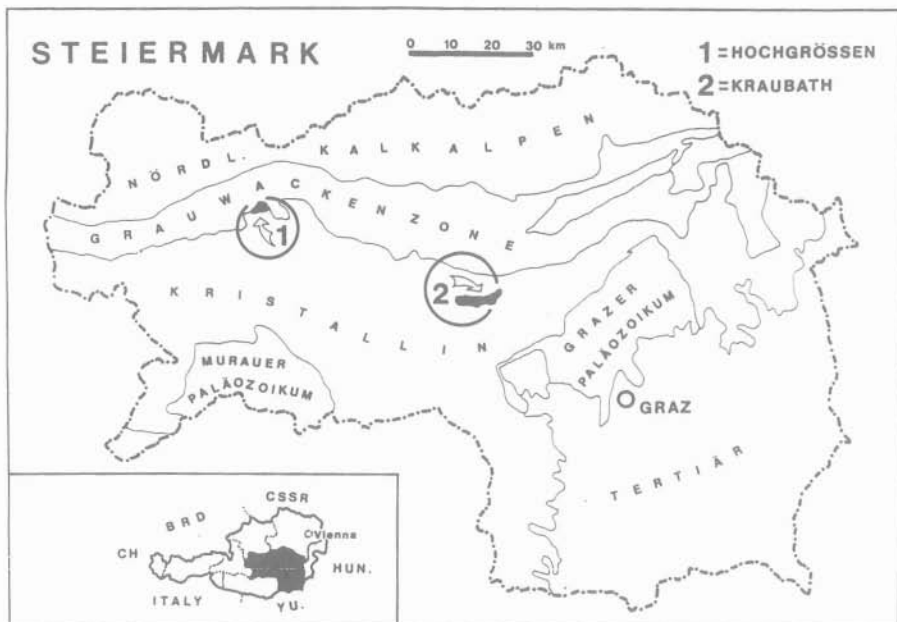


Abb. 1: Geologische Kartenskizze der Steiermark mit der Lage von Hochgrößen und Kraubath.

Das Hochgrößenmassiv, zu dem auch eine Gneis-Amphibolitserie gerechnet wird, ist in tektonischem Kontakt mit paläozoischen Gesteinen verschiedenen Metamorphosegrades, unter denen der Engelberger Gneis und die Rannachserie hervorzuheben sind. Das Ultrabasitmassiv von Kraubath ist in tektonischem Kontakt mit den Gneis-Amphibolitserien der Gleinalm, für die FRANK et al. (1976) ein Alter von  $500 \pm 45$  Millionen Jahren ermittelt haben.

Versucht man, das Vorkommen der Ultrabasite vereinfachend in einen regionalen Rahmen zu stellen, so ist etwa folgendes zu sagen: Sowohl die Rottenmanner-Seckauer Tauern wie auch die Gleinalm lassen sich als metamorphe paläozoische Komplexe mit zentralen Gneisbereichen und darüberliegenden metamorphen vulkano-sedimentären Serien (Schieferhüllen) interpretieren. Die Ultrabasite liegen nun im Bereich dieser Schieferhüllen. Der Mangel an umfangreichen geochronologischen Daten erlaubt bisher noch keine quantitative Korrelation. Von Interesse ist das stete Vorkommen von Amphiboliten und Gneisen, die im tektonischen Kontakt mit den Ultramafiten liegen. Ob hier ein genetischer Zusammenhang vorliegt, wird erst bei der Sichtung der Ergebnisse unserer Überlegungen zu sehen sein.

### 3. Petrographie

Geologische Kartierung und petrographische Untersuchungen zeigen, daß das Hochgrößen-Massiv aus drei charakteristischen Gesteinstypen besteht: Serpentin-Mylonite, Serpentin und serpentinisierter Dunit. Diese entsprechen verschiedenen Graden der Tektonisierung und Mylonitisierung eines ursprünglich wohl homogenen Ausgangsgesteines. Mit diesem sind linsenförmige Körper von Granatamphiboliten und Talk-Karbonaten verbunden. Die Serpentin-Mylonite beschränken sich dabei auf Überschiebungszonen. Die Serpentine dominieren im zentralen Teil des Hochgrößen-Massivs; sie sind intensiv tektonisiert, was unter anderem zur Entstehung eines planaren Gefüges führte. Im Südwestteil des Massivs sind die serpentinisierten Dunite verbreitet; auch diese waren einer Tektonisierung ausgesetzt. Tab. 1 zeigt einige typische Gesteinsanalysen von Ultramafiten vom Hochgrößen und

Tab. 1: Gesteinsanalysen vom Hochgrößen und von Kraubath.

	S 116	S 76	S 92	K 35	K 15
SiO <sub>2</sub>	34,00	38,00	39,00	37,50	34,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,99	0,19	2,42	0,43	1,99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,48	0,52	2,66	1,81	1,14
FeO	9,57	7,73	11,39	14,32	9,24
MgO	37,52	42,33	33,20	41,50	37,35
CaO	1,98	0,11	—	1,12	0,21
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06
K <sub>2</sub> O	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,06	0,10	0,05	0,10
MnO	0,18	0,11	0,07	0,18	0,10
Cr <sub>2</sub> O	0,42	0,42	0,48	0,43	0,43
NiO	0,50	0,33	0,36	0,26	0,72
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	11,42	10,95	11,10	2,47	15,66
	101,31	100,85	100,88	100,15	101,04

S 116, K 15: Serpentinisierter Dunit

S 76 : Serpentin

S 92 : Serpentin-Mylonit

K 35 : Dunit

von Kraubath. Granatamphibolite schließlich treten in Form linsenartiger Massen besonders in den nördlichen und zentralen Teilen des Untersuchungsgebietes auf. Mikrosondenanalysen der Granate zeigten ungewöhnliche Zusammensetzungen im Bereich Almandin-Grossular; derzeit laufende Untersuchungen dienen unter anderem zur Klärung der Beziehungen des Granat-Chemismus zu der komplexen Geschichte der Metamorphose des Gebietes. Eine tektonische Analyse, die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführt wurde, läßt eine komplexe Entwicklung, an der vier Bewegungs- und Metamorphosephasen teilhatten, erkennen.

#### 4. Erzmineralogie

Dieser wandte sich besonderes Interesse zu, da Spinelle bekanntlich als petrogenetische Indikatoren dienen können (IRVINE 1965, 1967). Am Hochgrößen und in Kraubath kommen Chromite verschiedener Zusammensetzung fein verteilt in Gesteinen und auch in allerdings nicht bauwürdigen Konzentrationen (Bänder, Schlieren etc.) vor. Die sogenannten „Konzentrate“ lassen wiederum zwei Typen unterscheiden:

1. körnige Chromit/Silikat-Aggregate
2. massive Chromit-Aggregate.

#### Reflectance of SPINELS, Hochgrößen, Austria

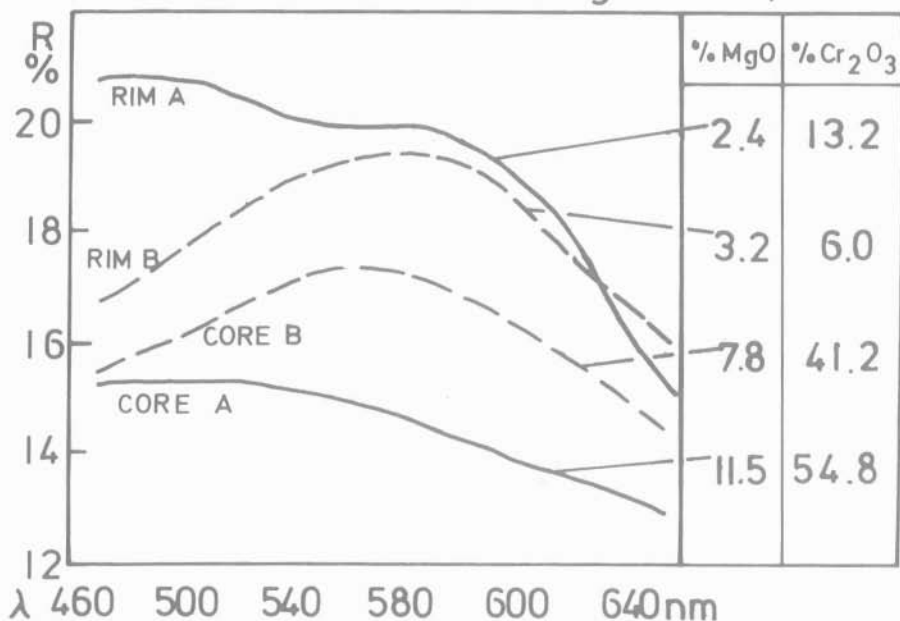


Abb. 2: Spektrales Reflexionsvermögen (R %) von Chromspinellen (A und B) vom Hochgrößen in Korrelation zu quantitativen Mikrosonden-Analysen. „Rim“ = Rand, „Core“ = Zentrum der untersuchten Körner. Im Bereich der Standard-Wellenlänge 589 nm ist die Beziehung der MgO-Gehalte zum Reflexionsvermögen besonders deutlich.

Erzmikroskopische Untersuchungen lassen Chromite von verschiedenem Reflexionsvermögen und damit auch von verschiedener Zusammensetzung erkennen.

Mikrosondenanalysen zeigten dann, daß eine Zunahme im Reflexionsvermögen stets mit zunehmendem Eisen- und Chromgehalten und abnehmenden Magnesium- und Aluminiumgehalten verbunden ist (Abb. 2). Trotz gewisser Schwankungen in der Zusammensetzung von Chromiten aus disseminierten und massiven Vorkommen zeigen die Mikrosondenanalysen im wesentlichen, daß die Chromite des Hochgrößen relativ reich an Magnesium und Aluminium sind. Betrachtet man dies auf Basis der Endglieder der Chromitfamilie, so dominieren  $MgAl_2O_4$ ,  $MgCr_2O_4$  und  $FeCr_2O_4$  als Hauptkomponenten der primären Chromite sowie Ferritchromit und Magnetit als sekundäre Bildungen. Die Chromite in Konzentraten enthalten etwas höhere  $MgAl_2O_4$ -Gehalte als die disseminierten Typen. Im Zuge der Metamorphose und Serpentinisierung kam es zur Umwandlung der primären Spinelle; dies kommt vorzugsweise durch Bildung von Säumen, die aus Ferritchromit wechselnder Zusammensetzungen und zum Teil auch aus Magnetit bestehen, zum Ausdruck.

In Kraubath liegt ein grundsätzlich anderer Typ von Chromiten vor, der sich durch hohe Anteile der  $FeCr_2O_4$ - und  $FeFe_2O_4$ -Komponente auszeichnet. Vergleichsweise liegen die Gehalte an  $MgAl_2O_4$  und  $MgCr_2O_4$  niedriger. Es handelt sich somit um „metallurgische“ Chromite, wie sie zur Gewinnung von Ferrochrom verwendet werden.

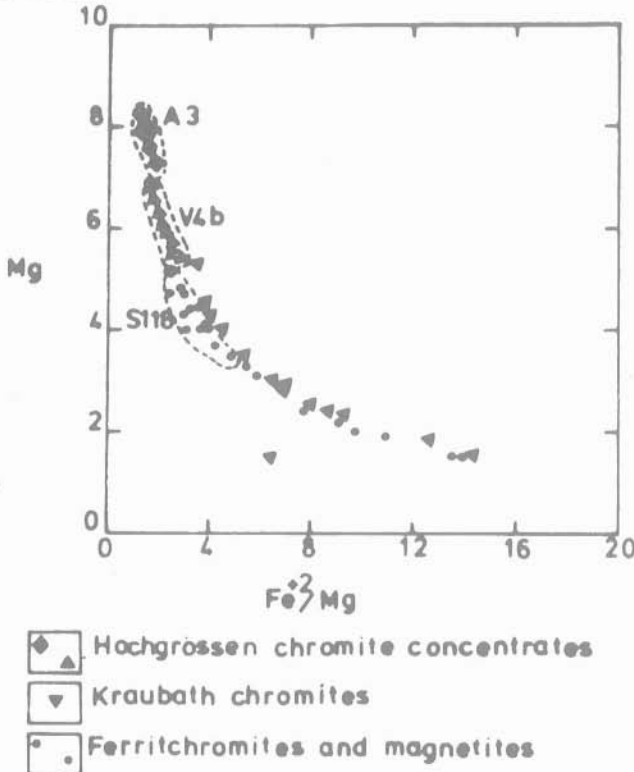


Abb. 3: Mikrosonden-Analysen von Chromiten im Diagramm  $Fe^{2+}/Mg$ -Mg. Die höheren  $Fe^{2+}$ - und niedrigeren Mg-Gehalte der Kraubather Chromite treten deutlich hervor.

Abb. 3 bringt ausgewählte Chromitanalysen in Übersicht. Dabei entsprechen die Chromite von Kraubath jenen aus dem Residuum von Ophiolitkomplexen, die

Chromite vom Hochgrößen deren Cumulus-Anteilen. Obwohl ein detaillierter Überblick über die Sulfidvererzung beider ultrabasischen Massive an anderer Stelle gegeben wird, so sei hier doch zusammenfassend gesagt, daß sowohl am Hochgrößen wie in Kraubath neben den primären Sulfiden Pyrrhotit ( $\text{Fe}_9\text{S}_8$ ) und Pentlandit ( $\text{Fe, Ni}_9\text{S}_8$ ) eine umfangreiche sekundäre Paragenese nachgewiesen werden konnte. Mikrosondenanalysen zeigten, das Pentlandite vom Hochgrößen eisenärmer als solche von Kraubath sind; hier liegt eine Parallele im geochemischen Charakter von Oxyden und Sulfiden vor, die sich gut in das entsprechende petrogenetische Schema einfügt. Die sekundären Sulfide werden verschiedenen Stadien der Metamorphose und Serpentinisierung zugeschrieben. Vor allem sind hier Heazlewoodite ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ), Millerit ( $\text{NiS}$ ), Makinawatite ( $(\text{Fe, Ni, Co})_{1-x}\text{S}$ ), Vallerit ( $\text{Cu}_3\text{Fe}_4\text{S}_7 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$ ) und gediegen Kupfer zu nennen. Am Hochgrößen konnte außerdem auch Gersdorffit ( $\text{NiAsS}$ ) und Arsenkies ( $\text{FeAsS}$ ) bestimmt werden. Die Bedeutung der Serpentinisierung für die Neubildung von Sulfiden ist bereits in verschiedenen Arbeiten erwähnt worden (RAMDOHR, 1967; RUCKLIDGE, 1977). Unter günstigen Umständen kann es zur Freisetzung des in den Silikaten (Olivin) fixierten Nickels und zu dessen Wiederabsatz in Form von aufbereitungstechnisch leicht zugänglichen Nickelsulfiden führen. Unsere Untersuchungen zeigten jedoch, daß die Nickelgehalte der Massive von Kraubath und Hochgrößen nur teilweise in Sulfidform übergeführt worden sind. Gewinnung von Nickel aus Silikaten erfordert höhere Gehalte (einige % Ni) und einen beträchtlichen aufbereitungstechnischen Aufwand, der bisher nur in tropischen Nickel-Laterit-Lagerstätten (Neukaledonien, Zentral-Amerika) zu wirtschaftlichem Erfolg geführt hat.

Zusammenfassend ist für die opaken Minerale zu sagen, daß besonders der Unterschied in der Zusammensetzung der Spinelle am Hochgrößen und in Kraubath für weitere Überlegungen von Interesse ist. Die Chromite vom Hochgrößen sind eindeutig als „refractory“, die von Kraubath als metallurgisch zu bezeichnen. Von diesen praktischen Erwägungen abgesehen, sind diese Unterschiede auch genetisch gesehen von Bedeutung.

## 5. Geochemie

Umfangreiche Arbeiten wurden durchgeführt, um, mit verschiedenen Methoden, ein möglichst umfassendes Bild über die Zusammensetzung des Hochgrößen-Massivs zu erhalten. Hier kamen Gesteinsanalysen, Mineralanalysen mit der Mikrosonde, Spurenelementanalysen und Bestimmungen der seltenen Erde mittels Neutronenaktivierung zur Anwendung. Parallel dazu lief ein auch von der Steiermärkischen Landesregierung durch die Vereinigung für Lagerstättenforschung in Leoben gefördertes Projekt zur Untersuchung der Hauptelemente und der Nickelverteilung in Kraubath, dessen Ergebnisse inzwischen vorliegen (HADITSCH et al., 1981). Es ist von Interesse, daß die Gesteinsanalysen von Ultramafiten vom Hochgrößen und von Kraubath (Tab. 1) in den Hauptelementen keine wesentlichen Unterschiede zeigen. Im allgemeinen fügen sich Analysenwerte gut in den durch metamorphe Peridotite weltweit gegebenen Rahmen (COLEMAN, 1977). Die sehr hohen Magnesium-Gehalte weisen auf eine Herkunft aus dem Mantel hin. Sie entsprechen den Werten von metamorphen Peridotiten und Duniten sowie dem von Kumulaten aus ophiolitischen Komplexen. Olivine vom Hochgrößen sind mit  $\text{Fo}_{92-93}$  überaus magnésiumreich.

Sechs charakteristische Spurenelemente, nämlich Ni, Co, Cr, Cu, Mn und Ti wurden ausgewählt, um womöglich eine geochemische Charakterisierung der Gesteine vom Hochgrößen und von Kraubath zu ermöglichen. Ein erster Vergleich

der Ergebnisse mit den von COLEMAN (1977) für ophiolitische Gesteinsvergesellschaftungen angegebenen, zeigen beträchtliche Ähnlichkeiten. Diese umfassen vor allem die deutliche Anreicherung in Nickel, Cobalt und Chrom und eine Verarmung an Titan und Kupfer.

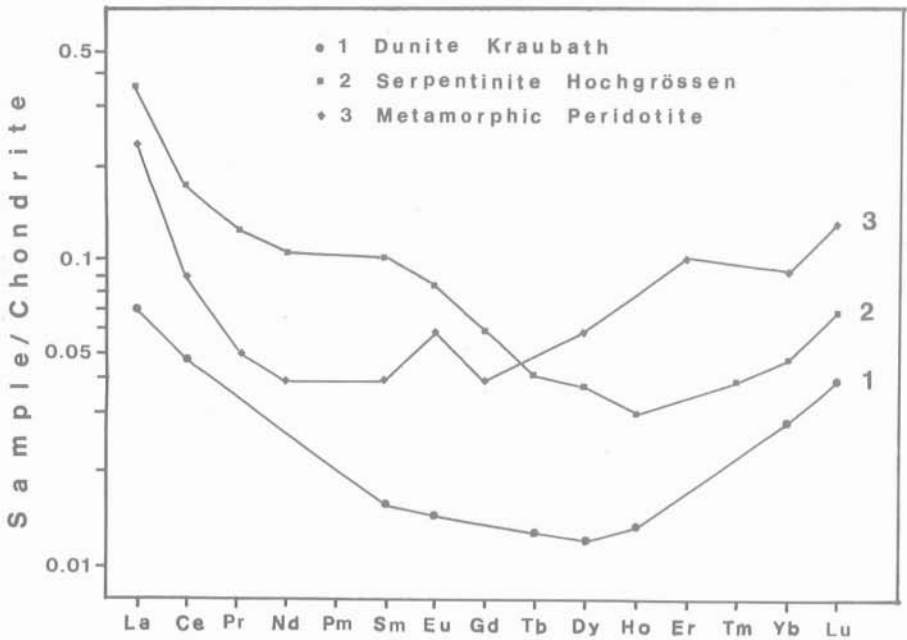


Abb. 4: Verteilung der Seltenen Erden (SEE) in den Ultramafiten von Kraubath und Hochgrößen. Zum Vergleich sind die Werte für einen typischen metamorphen Peridotit (COLEMAN, 1977) eingetragen. Die Werte für Hochgrößen liegen deutlich höher und entsprechen denen von Kumulat-Anreilen der Ophiolite.

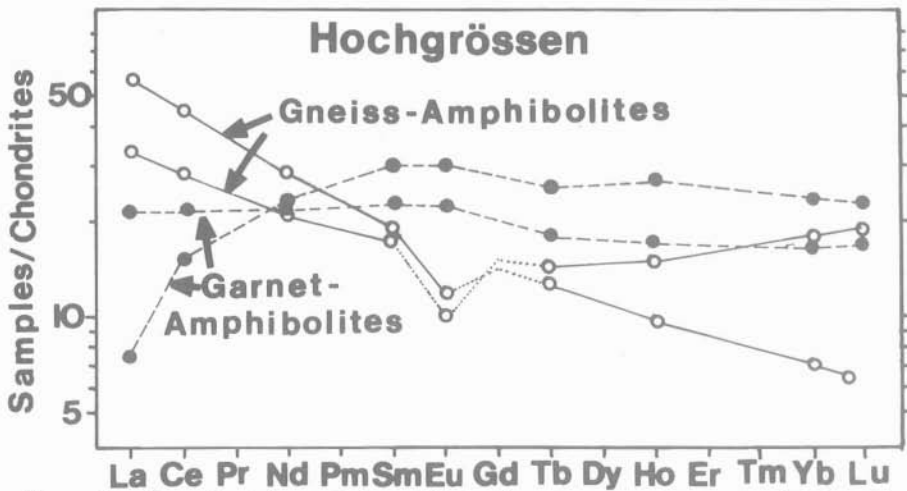


Abb. 5: Verteilung der Seltenen Erden (SEE) in den Granat- und Gneiss-Amphiboliten des Hochgrößen. Erstere entsprechen den „Upper Level Gabbros“, letztere den Plagiograniten typischer Ophiolit-Abfolgen.

Die Ergebnisse von Neutronenaktivierungsanalysen der seltenen Erden sind in Abb. 4 und Abb. 5 zusammengefaßt. Von besonderem Interesse ist dabei die Tatsache, daß die Ultramafite von Kraubath deutlich niedrigere SEE-Gehalte zeigen; die der Ultramafite vom Hochgrößen liegen im Durchschnitt um das Vierfache höher. Dies kann dahingehend interpretiert werden, daß die Hochgrößen-Ultramafite Fraktionierungsprodukte einer an seltenen Erden verarmten Silikatschmelze sind.

Neutronenaktivierungsanalysen wurden auch von den mit den Hochgrößen-Ultrabasiten assoziierten Granatamphiboliten durchgeführt. Diese zeigen 29mal höhere Werte als die Ultramafite vom Hochgrößen und eine 110fache Zunahme verglichen mit den Ultramafiten von Kraubath. Falls man annimmt, daß die beiden Massive petrogenetisch in Beziehung stehen, und falls man sie auf gemeinsames primitives Mantelmaterial bezieht, so können die Kraubather Gesteine als „refractory residue“ und die Hochgrößen-Ultramafite als Kumulatanteile interpretiert werden. Die Granatamphibolite und die Gneisamphibolite würden sich entsprechend aus einer an seltenen Erden weiter angereicherten Schmelze gebildet haben und damit den basaltischen bis dacitischen Anteilen eines Ophiolit-Komplexes entsprechen.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß eine umfassende geowissenschaftliche Untersuchung der Ultramafite vom Hochgrößen und von Kraubath darauf hinweist, daß es sich hier um tektonisch voneinander getrennte Teile eines paläozoischen Ophiolith-Komplexes handelt. Besonders die Zusammensetzung der Spinelle und die Verteilung der Seltenen Erden (SEE) zeigen, daß sowohl das Residuum (Kraubath) wie das Kumulus-Material (Hochgrößen) erhalten sind. Diese Ergebnisse werfen neues Licht auf die Bedeutung der Plattentektonik im Paläozoikum der östlichen Zentralalpen — nur im Rahmen von Sub- und Obduktions-Vorgängen kann es ja zur Einschuppung von Ophiolithkomplexen (ozeanische Kruste) in kontinentale Kruste kommen. An dem Hochgrößen und Kraubath verbindendem tektonischem Lineament sind weitere, allerdings kleinere, Ultramafite bekannt. Einer davon, der Komplex des Lärchkogel bei Hohentauern, wird zur Zeit in Fortführung des hier beschriebenen Projektes untersucht.

Die Chromverwertung des Hochgrößen ist ebenso wie die von Kraubath auf unregelmäßig verteilte Schlieren und Bänder im Dezimeter- bis Meter-Maßstab beschränkt. An eine wirtschaftliche Chromgewinnung ist zur Zeit nicht zu denken. Ähnlich ist die Situation was Nickel betrifft; trotz intensiver Serpentinisierung ist es nicht zur Entstehung dispersiver sulfidischer Nickelerze gekommen. Eine derartige natürliche „Voranreicherung“ würde eine Gewinnung der in beiden Ultramafiten zwischen 0,2 und 0,4% liegende Ni-Gehalte wesentlich erleichtern.

## Danksagungen

Der Steiermärkischen Landesregierung danken wir für die großzügige Förderung der Geländearbeiten im Rahmen des Projektes „Steirische Rohstoff-Reserven“ und für die Einrichtung eines Mikrosonden-Labors am Mineralogischen Institut der Montan-Universität. Einer von uns (A.E.A.) ist dem Deutschen Akademischen Auslands-Dienst (DAAD) für ein Doktoranden-Stipendium überaus dankbar. Den Herren H. STOSCH (Institut für Kernchemie der Universität Köln) und H. MÜHLHANS (Institut für Mineralogie, Montanuniversität Leoben) danken wir für die Hilfe bei den Neutronenaktivierungs- und Mikrosonden-Analysen.

## Literatur

COLEMAN, R. G., 1977: Ophiolites. — Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 229 S.  
EL AGEED, A., SAAGER, R. & STUMPFL, E. F., 1979: The Hochgrößen Ultramafic Rocks and



- Associated Mineralization, Rottenmann Tauern, Austria. — *Verh. Geol. B.-A.* (Third Ismida volume), 13—22.
- EL AGEED, A., SAAGER, R. & STUMPFL E. F., 1980: Pre-Alpine Ultramafic rocks in the Eastern Central Alps, Styria, Austria. — *Proc. Int. Ophiolite Symposium*, Nicosia, Cyprus, 601—606.
- HADITSCH, J. G., PETERSEN-KRAUSS, D. & YAMAC, Y., 1981: Beiträge für eine geologisch-lagerstättenkundliche Beurteilung hinsichtlich einer hydrometallurgischen Verwertung der Kraubather Ultramafitmasse. — *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmuseum Joanneum*, Heft 42, Graz.
- IRVINE, T. N., 1965: Chromian Spinel as a petrogenetic indicator. Part I. Theory. — *Can. J. Earth Sci.* 2, 648-672.
- IRVINE, T. N., 1967: Chromian spinel as a petrogenic indicator. Part II. Petrologic applications. — *Can. J. Earth Sci.* 4, 71—103.
- RAMDOHR, P., 1967: A widespread mineral association, connected with serpentinization. — *N. Jb. Min. Abh.* 107 (3), 241—265.
- RUCKLIDGE, J. C. und PATTERSON, G. C., 1977: The role of chlorine in serpentinization. — *Contr. Mineral. Petrol.* 65, 39—44.

Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. E. F. STUMPFL, Institut für Mineralogie der Montanuniversität, A-8700 Leoben und Dr. A. EL AGEED, Department of Geology, University of Khartoum, Khartoum, Sudan.