

CHEMISMUS VON SPINELLEN AUS DEM MEZÖ-MADARAS-CHONDRIIT

G. HOINKES und G. KURAT, Wien

Zusammenfassung

Der Chemismus der Spinelle im Mezö-Madaras-Chondrit umfaßt den gesamten Mischkristallbereich Spinell-Chromit. Dabei zeigen die Spinelle der "unequilibrierten" Hauptmasse des Mezö-Madaras-Chondrits die größte Vielfalt an Chemismen: Al-, Al-Cr-, Cr-Al-Spinelle, normale chondritische Chromite und Al-Ti-arme Chromite. Im Gegensatz dazu führt ein "fast equilibrierter" chondritischer Einschluß im Mezö-Madaras überwiegend nur Chromite mit normal-chondritischer Zusammensetzung, sowie einige Al-Chromite und einen Cr-haltigen Al-Spinell. In beiden untersuchten Teilbereichen des Mezö-Madaras-Chondrits sind die Spinell-Chemismen an bestimmte Vorkommen gebunden. Weiters zeigen manche intermediäre Al-Cr-Spinelle eine Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung vom Zeitpunkt der Kristallisation, wobei die Spätkristallite zu Cr-, Fe- und Ti-Anreicherungen tendieren.

Die Gehalte an Nebenelementen schwanken in den untersuchten Spinellen in weiten Bereichen. Chromite mit normaler Zusammensetzung, wie sie aus den gewöhnlichen Chondriten bekannt sind, sind jedoch immer sehr einheitlich zusammengesetzt. Die unterschiedlichen Zusammensetzungen der Spinelle haben ihre Ursachen im unterschiedlichen Pau-

2006 2 15

schalchemismus und in der unterschiedlichen Kristallisationsgeschichte der Gesteinsfragmente und Chondren.

Die Genese der Chondrite wird im Lichte dieser Ergebnisse kurz diskutiert.

Abstract

Spinelns and some coexisting minerals have been analyzed in two different parts of the Mezö-Madaras chondrite with the electron microprobe: in the "unequilibrated" main mass and in a "nearly equilibrated" chondritic inclusion. Compositions of spinels in the "unequilibrated" part cover the whole range of solid-solutions between spinel and chromite. Cr-free Al-spinels, Al-Cr-spinels, Al-chromites, normal chondritic chromites, and Al- and Ti-poor chromites may be distinguished. Spinelns in the "nearly equilibrated" chondritic inclusion in Mezö-Madaras predominantly have compositions of normal chondritic chromite. There are, however, a few exceptions of Al-rich chromites and Cr-bearing Al-spinel compositions. In both parts of the Mezö-Madaras chondrite the composition of spinels is related to petrographic occurrences.

This investigation shows that spinel-compositions depend on bulk composition as well as on crystallization history of the respective spinel-bearing lithic fragment or chondrule. Consequences regarding the genesis of chondrites are briefly discussed.

1. Einleitung

Der Meteorit von Mezö-Madaras ist ein Chondrit der L-Gruppe^{1,2} und im Sinne Wahls³ eine polymikte Brekzie⁴. Die Hauptmasse ist "unequilibriert", mit wechselndem Fe/Mg-Verhältnis der Hauptphasen Olivin und Pyroxen^{4,5,6,7,8}. Mehrere Einschlüsse von gewöhnlichen ("fast equilibrierten") Chondriten und ein den kohligen Chondri-

ten ähnliches Fragment wurden bisher beschrieben⁴.

Die Zusammensetzungen der wichtigsten Phasen, sowohl in der "unequilibrierten" Hauptmasse als auch in den chondritischen Einschlüssen, sind aufgrund der oben zitierten neueren Untersuchungen gut bekannt. Die weniger häufigen Phasen sind bezüglich ihres Zusammensetzungsbereiches jedoch nur sehr unvollständig untersucht. Das Vorhandensein von Al-Spinellen im "unequilibrierten" Mezö-Madaras-Chondrit⁸ steht im krassen Gegensatz zu den gewöhnlichen "equilibrierten" Chondriten, deren Spinellphasen praktisch ausschließlich Chromite sind^{9,10,11}. Da neben den Al-Spinellen auch chromitische Spinelle im Mezö-Madaras zu beobachten sind, erhoben sich die Fragen, in welchem Bereich der Chemismus schwankt und warum.

Parallel dazu werden auch die Spinelle eines "fast equilibrierten" chondritischen Einschlusses untersucht, um den Grad der "Equilibrierung" der Spinelle zu erfassen. Gleichzeitig soll diese Untersuchung einen direkten Vergleich der Spinellzusammensetzungen zwischen dem "unequilibrierten" Mezö-Madaras inklusive einiger "equilibrierter" Mikrofragmente einerseits und einem "equilibrierten" Großeinschluß andererseits ermöglichen. Dieser Vergleich sollte zeigen, ob zwischen dem "equilibrierten" Großeinschluß und einigen der Mikro-Fragmente eine Beziehung besteht, welche auf ein gemeinsames Ausgangsgestein hinweisen könnte.

Die chemische Zusammensetzung der Spinelle und einiger koexistierender Phasen wurde mittels einer Elektronenstrahl-Mikrosonde vom Typ ARL-EMX ermittelt. Gemessen wurde bei 15 kV Beschleunigungsspannung und etwa 0,02-0,03 μ A Probenstrom. Als Standards dienten naßchemisch analysierte homogene Minerale. Die Daten wurden für Untergrund, Totzeit, Drift, Fluoreszenz und Absorption¹² korrigiert.

2. Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tab. 1 sowie Abb. 1 und 2 zusammengefaßt. Es zeigte sich, daß die Zusammensetzung der Spinelle im Mezö-Madaras auf die Mischungsreihe Spinell sensu stricto - Chromit beschränkt ist. Die Häufigkeiten bestimmter Spinellzusammensetzungen sowie die Zusammensetzungsbereiche im "unequilibrierten" und "fast equilibrierten" Mezö-Madaras unterscheiden sich deutlich. Die beiden unterschiedlichen Vorkommen werden daher im folgenden getrennt beschrieben:

2.1. Spinelle im "unequilibrierten" Mezö-Madaras

Die Zusammensetzung der Spinelle im "unequilibrierten" Mezö-Madaras umfaßt die gesamte Mischungsreihe Spinell-Chromit (Tab. 1, Abb. 1).

Die Spinelle sensu stricto sind sehr Cr-arm (0,5 Gew.-% Cr_2O_3) und auch generell arm an Nebenelementen, wie V_2O_3 (0,1 - 0,5 Gew.-%), TiO_2 (um 0,3 Gew.-%) und MnO (unter 0,1 Gew.-%) (Abb. 2). Auffallend sind die hohen ZnO-Gehalte (1,4 - 2,3 Gew.-%), die jene der anderen Spinelle um ein Vielfaches übersteigen.

Die Vorkommen dieser Spinelle sind auf glasreiche Fragmente und Chondren beschränkt. Die Spinelle sind immer idiomorph und bezüglich des FeO-Gehaltes zonar gebaut, mit starken Fe-Anreicherungen zur Kristalloberfläche hin. Die typischen koexistierenden Phasen sind Forsterit (stark zonar von Fa 0-10), Klinoenstatit, Fassait, Metall, Troilit und ein Na-Al-reiches (hoch normatives) Glas (vgl. MM XXVI bei Kurat⁸).

Die intermediären Al-Cr-Spinelle umfassen den Bereich von 0,1 bis 0,8 Cr/Cr+Al (Abb. 1, Tab. 1). Es ist dies eine sehr heterogene Gruppe, deren Haupt- und Nebenelemente meist nur innerhalb der einzelnen Vorkommen korrelierbar sind. Generell zeigt sich mit der Zunahme des

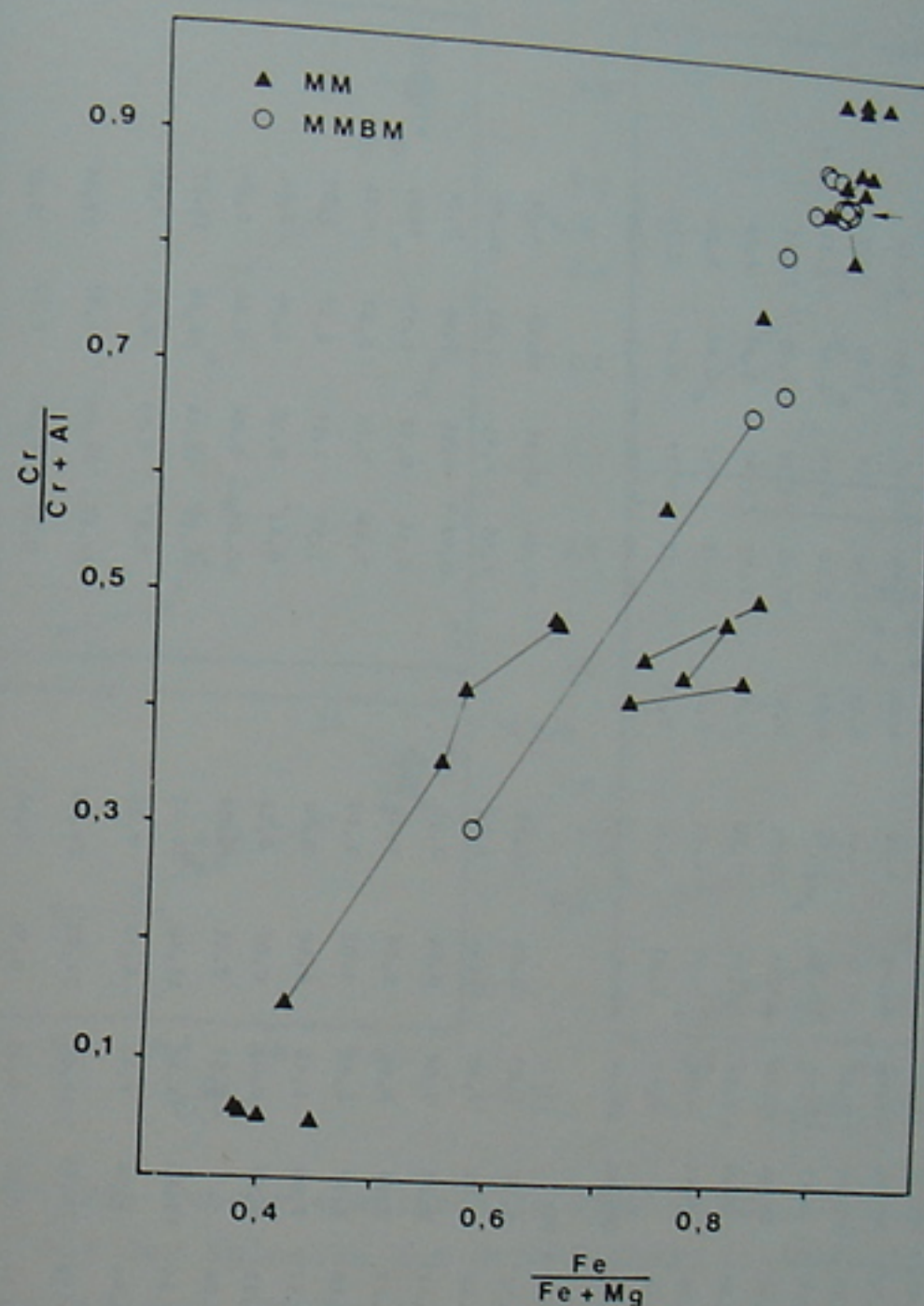


Abb. 1. $\frac{\text{Cr}}{\text{Cr+Al}} - \frac{\text{Fe}}{\text{Fe+Mg}}$ -Projektion der Spinellchemismen im Chondrit von Mezö-Madaras. MM steht für den "unequilibrierten" Teil, MMBM für den "fast equilibrierten" Einschluß (British Museum Nr. 33909). Die durch Striche verbundenen Punkte stellen Spinelle dar, welche in ein und demselben Objekt vorkommen. Der Pfeil zeigt auf die Stelle, wo sich die darstellenden Punkte von 23 MMBM-Chromiten überlagern.

Tabelle 1. Ausgewählte Elektronenstrahl-Mikrosonden-Analysen von Spinellen aus dem Chondrit von Mezö-Madaras in Gew.-% mit auf der Basis von 32 O errechneten Kationen sowie den aus dem Kationenüberschuß errechneten Fe₂O₃-Gehalten

	Durchschnitt von										
	MM3/1	MM6	MM27	MMS	MM4/2	MM26/3	23 MMBM Chromiten u. Standardabweichung			MMBM 6A	
							10B	11	6B		
Cr ₂ O ₃	62,25	54,93	53,41	44,07	37,15	0,53	54,68	0,87	47,05	47,35	25,18
Al ₂ O ₃	1,47	5,59	10,72	20,44	25,64	64,88	5,26	0,16	7,44	13,50	38,50
TiO ₂	0,18	1,90	0,62	0,64	0,38	0,37	2,49	0,08	2,20	2,18	1,31
V ₂ O ₃	0,83	0,66	0,57	0,42	0,18	0,50	0,79	0,01	0,66	0,54	0,31
FeO	32,20	33,22	30,44	29,14	30,35	17,56	33,39	0,41	31,45	31,10	23,69
MgO	1,28	2,05	3,30	5,34	3,97	15,71	1,70	0,20	2,70	2,80	3,37
MnO	0,57	0,52	0,46	0,41	0,34	0,08	0,51	0,02	0,46	0,42	0,26
ZnO	0,32	0,26	0,28	-	0,87	2,03	0,35	0,04	0,18	0,27	0,22
Summe	99,10	99,13	99,80	100,46	98,88	101,61	99,17		97,30	97,86	98,06
Kationen auf der Basis O = 32:											
Cr	14,68	12,61	11,77	9,11	7,67	0,09	12,58		12,01	10,41	4,78
Al	0,52	1,91	3,52	6,29	7,89	15,68	1,80		2,55	4,45	10,89
Ti	0,04	0,42	0,33	0,08	0,08	0,05	0,55		0,48	0,46	0,24
V	0,22	0,15	0,13	0,09	0,04	0,08	0,18		0,15	0,12	0,06
Fe	8,03	8,07	7,10	6,37	6,63	3,01	8,13		7,65	7,28	4,76
Mg	0,57	0,89	1,37	2,08	1,45	4,80	0,74		1,17	1,17	3,07
Mn	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	0,01	0,13		0,11	0,10	0,05
Zn	0,07	0,06	0,06	-	0,17	0,31	0,08		0,04	0,06	0,04
R ³⁺	15,46	15,09	15,55	15,57	15,68	15,90	15,11		15,19	15,44	15,97
R ²⁺	8,81	9,15	8,64	0,54	8,33	8,13	9,08		8,97	8,61	7,92
Σ R ³⁺ +R ²⁺	24,27	24,24	24,19	24,11	24,01	24,03	24,19		24,16	24,05	23,89
FeO = FeO/MgO	0,93	0,90	0,84	0,75	0,82	0,39	0,90		0,87	0,86	0,83
Fe ₂ O ₃ =	2,9	2,9	2,3	1,9	-	-	2,3		1,9	0,6	-

== Gew.-%, berechnet aus dem Gesamtüberschuß der Kationen

x Mole

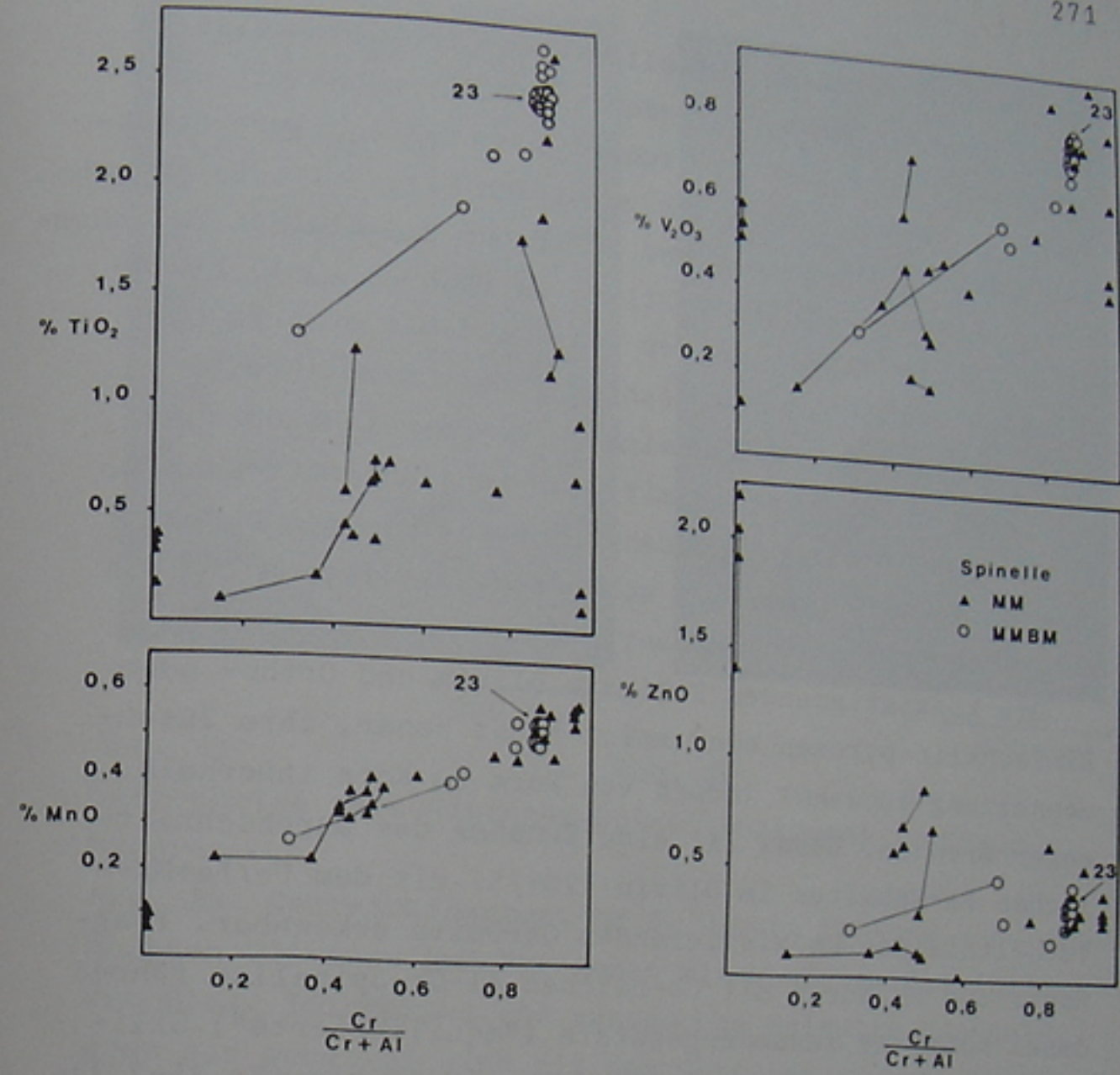


Abb. 2. Die Nebenelementgehalte (Gew.-% ZnO, V₂O₃, MnO und TiO₂) der Spinelle aus Mezö-Madaras in Abhängigkeit vom molekularen Cr/Cr+Al.

MM : "unequilibrierter" Teil

MMBM : "fast equilibrierter" Teil

Cr-Gehaltes neben der entsprechenden Abnahme des Al-Gehaltes ein Ansteigen des Fe/Fe+Mg-Verhältnisses und der MnO-, V₂O₃- und TiO₂-Gehalte. Gleichzeitig steigt der Überschuß der Kationen, was einen steigenden Fe₂O₃-Gehalt andeutet. Die Berechnung ergibt bis zu 2 Gew.-% Fe₂O₃.

Die intermediären Spinelle kommen typischerweise in glasführenden Gesteinsfragmenten und Chondren mit equigranularer bis poikilitischer oder Balkenolivin-Struktur vor. Obwohl Glas immer vorhanden ist, tritt es mengenmäßig sehr stark zurück und füllt nur die kleinen Zwischenräume zwischen den Fe-Mg-Silikaten (Abb. 3 a,b). Al-Cr-Spinelle sind sowohl in den Silikaten als auch im Glas eingeschlossen. Dementsprechend ändert sich ihre Zusammensetzung von Al-Mg-reich zu Cr-Fe-reich, oder nur von Mg-reich zu Fe-reich mit etwa konstantem Cr-Gehalt. Die Zusammensetzung kann dabei innerhalb eines Objektes über einen weiten Bereich schwanken, ist jedoch für die einzelnen Kristalle konstant.

Die koexistierenden Silikate Olivin und Ortho- oder Einfachklinopyroxen sind meist nicht zonar, ihre Zusammensetzung schwankt jedoch von Korn zu Korn innerhalb enger Grenzen. Dabei ist eine Zunahme des durchschnittlichen Fa-Gehaltes im Olivin (20-25) mit dem Fe/Fe+Mg-Verhältnis des koexistierenden Chromits erkennbar. Fragmente und Chondren mit Cr-reichen Al-Cr-Spinellen führen dabei konstant zusammengesetzte ("equilibrierte") Silikate mit relativ hohen Fa-Gehalten im Olivin (Fa 25-27).

Die Chromite mit einem Cr/Cr+Al-Verhältnis von 0,85 - 0,98 zerfallen deutlich in zwei Untergruppen (Tab. 1, Abb. 1): Die eine Gruppe, charakterisiert durch Cr/Cr+Al- und Fe/Fe+Mg-Verhältnisse von etwa 0,88 und 0,91, entspricht den Chromiten aus den gewöhnlichen Chondriten^{9,10}. Ihre Zusammensetzung ist recht einheitlich und ist durch einen Al₂O₃-Gehalt von 5,5 Gew.-% und durch den höchsten TiO₂-Gehalt (um 2,5 Gew.-%) der gesamten Reihe charakterisiert. Der berechnete Fe₂O₃-Gehalt liegt konstant bei rund 3 Gew.-%. Wir werden sie in der Folge normale chondritische Chromite nennen.



200 μm



200 μm

Abb. 3a

Abb. 3b

Mikrophotos verschiedener Spinellvorkommen im Mezö-Madaras

Abb. 3a. Gesteinsfragment MM 6. Dichte Packung von idiomorphen Olivinen und Pyroxenen mit wenig zwickelfüllendem Glas. Idiomorphe und xenomorphe Spinelle (dunkelgrau bis schwarz) sind mit dem Glas assoziiert. (Durchlicht.)

Abb. 3b. Al-haltiger Chromit in einem Chondren-Fragment (MM 27). Idiomorpher Kristall (hellgrau) konstanter Zusammensetzung in glasführender Matrix. (Auflicht.)

Die zweite Gruppe bilden Chromite mit sehr hohen Cr/Cr+Al- und Fe/Fe+Mg-Verhältnissen (0,98 bzw. 0,95) und einem sehr niedrigen TiO₂-Gehalt (Tab. 1, Abb. 2). Auch diese Gruppe ist recht einheitlich und zeigt nur einen geringen Schwankungsbereich im Fe/Fe+Mg-Verhältnis und in den Fe₂O₃- und TiO₂-Gehalten, ähnlich einigen Chromiten aus anderen "unequilibrierten" Chondriten⁹. Beide Gruppen haben ähnliche Vorkommen, und zwar:

2006 2 15

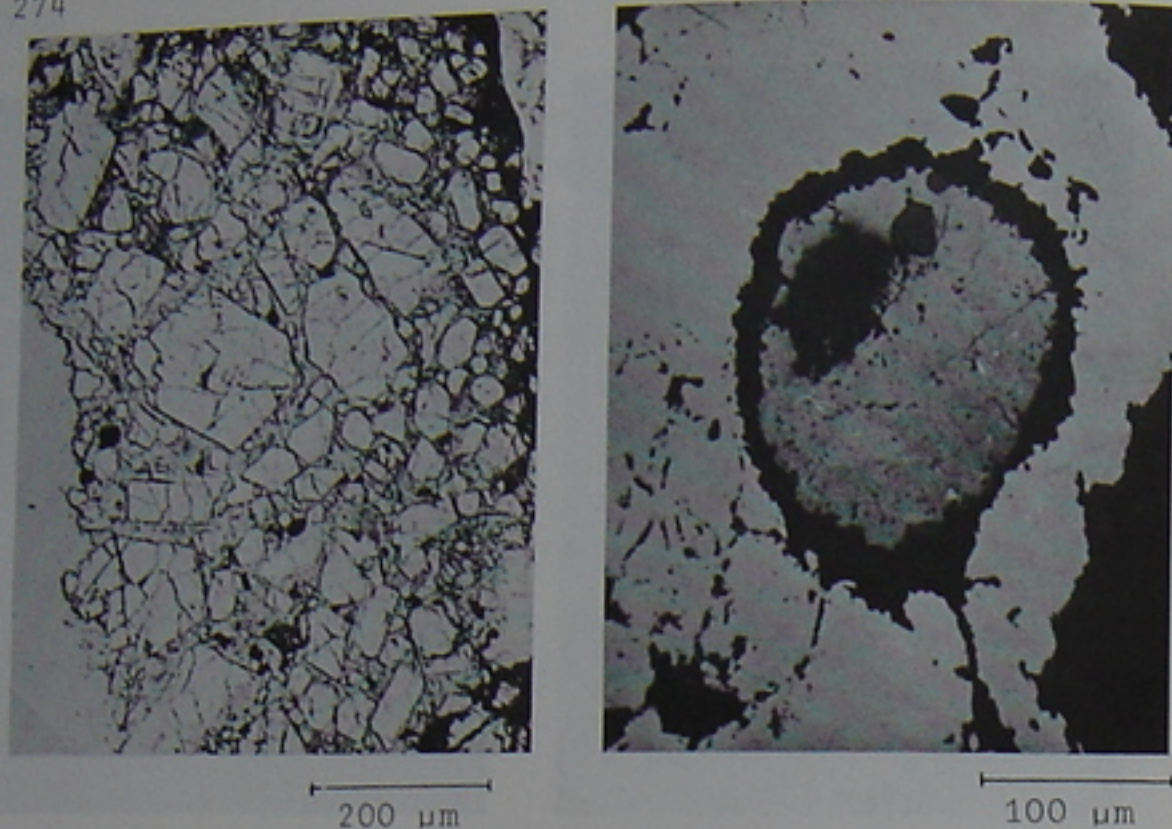


Abb. 4a

Abb. 4b

Mikrophotos verschiedener Spinellvorkommen im Mezö-Madaras

Abb. 4a. Porphyrisches Fragment MM 1 mit idiomorphen bis hypidiomorphen Olivin-Einsprenglingen in glasreicher Matrix. Chromite von normaler chondritischer Zusammensetzung sind als schwarze Pünktchen in der Matrix erkennbar. (Durchlicht.)

Abb. 4b. Beispiel von Chromit (grau) in Troilit (hellgrau) mit Silikatsaum (schwarz) und Nickeleisen. (Auflicht.)

a) Kleine Kriställchen in der Matrix porphyrischer Fragmente und Chondren (vgl. Abb. 4a). Die Zusammensetzung dieser Chromite ist immer sehr einheitlich. Sie gehören entweder der einen oder anderen Gruppe an. Im Gegensatz dazu schwankt die Zusammensetzung der koexistierenden Olivine beträchtlich (14-31 Mol-% Fa). Zonarbau ist jedoch meist nur schwach ausgebildet. Eine Ausnahme bildet Fragment MM 1, welches einige Olivine mit extremem Zonarbau führt. Der Kern dieser

Kristalle wird dabei von reinem Forsterit gebildet, der von eisenreichem Olivin (Fa 28) ummantelt ist (Abb. 5).

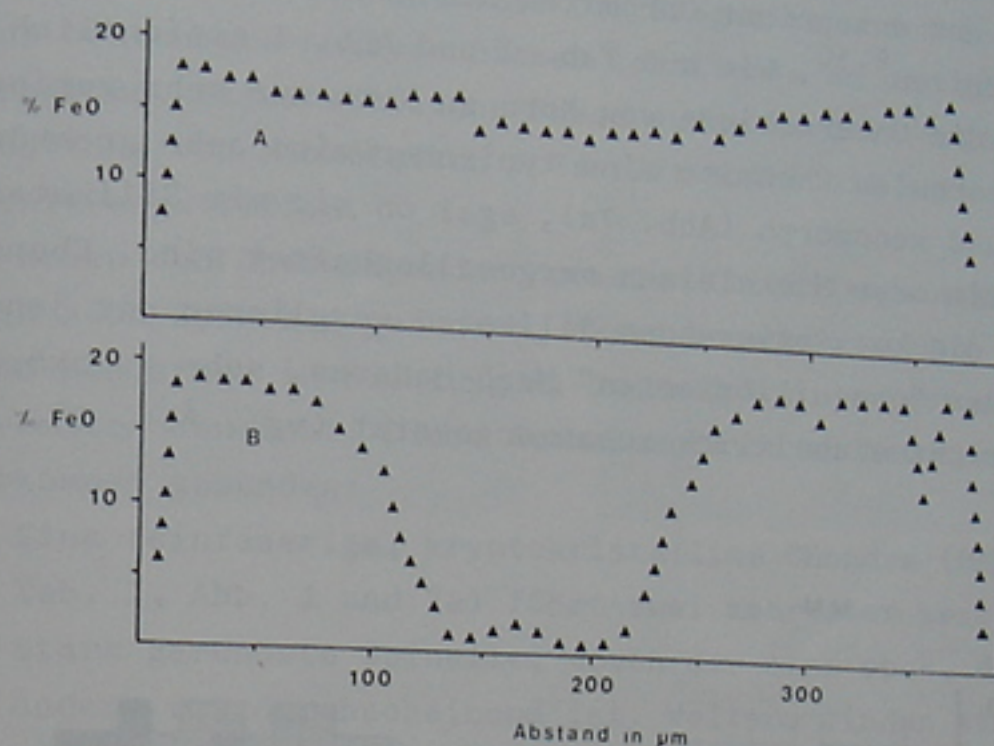


Abb. 5. Fe-Verteilung in Olivinen des Fragments MM 1.
A: Normaler, fast homogener Olivin
B: Olivin mit Forsterit-Kern, dessen Hülle dem normalen Olivin entspricht.

- b) Chromite, koexistierend mit Nickel-Eisen und Troilit (Abb. 4b). Diese sind im Kontakt zu Silikaten meist xenomorph, gegenüber Troilit und Nickeleisen jedoch - ab einer bestimmten Korngröße - immer idiomorph. Dies ist eine typische Erscheinung, die schon vielfach in gewöhnlichen Chondriten beschrieben wurde (vgl. Ramdohr¹³).
- c) Lose xenomorphe Chromite in der kohligen Matrix zwischen den Fragmenten und Chondren.

2.2. Spinelle im "fast equilibrierten" Mezö-Madaras

Die Zusammensetzung der meisten Spinelle im chondritischen Einschluß Mezö-Madaras BM 33909 ist sehr einheitlich und entspricht Chromiten aus gewöhnlichen L- und LL-Chondriten^{9,10}. Wie aus Tab. 1 und Abb. 1 ersichtlich ist, sind die Unterschiede von Korn zu Korn nur sehr gering. Die normalen Chromite sind typischerweise sehr grobkörnig und xenomorph (Abb. 7a), egal ob sie mit Silikaten, Troilit oder Nickeleisen vergesellschaftet sind. Ebenso sind die koexistierenden Silikate, verglichen mit jenen aus dem "unequilibrierten" Mezö-Madaras, sehr grobkörnig und recht einheitlich zusammengesetzt (vgl. Abb. 6). Der

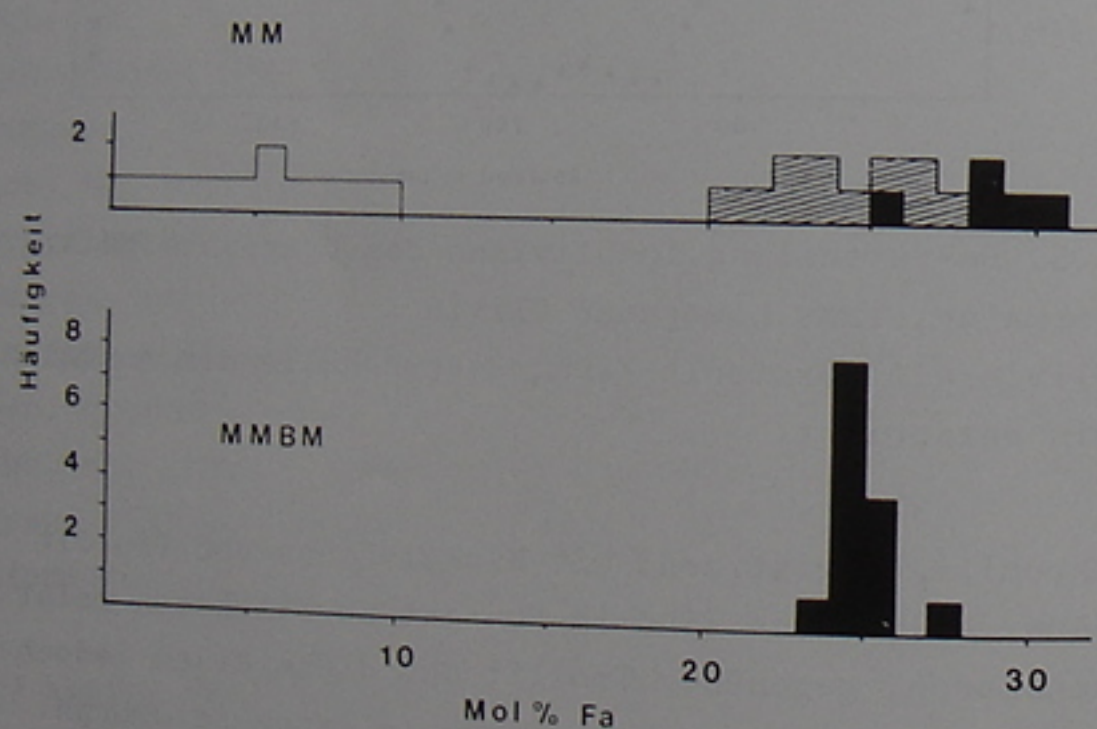


Abb. 6. Fayalit-Gehalte der mit verschiedenen Spinellen koexistierenden Olivine im "unequilibrierten" (MM) und "fast equilibrierten" (MMBM) Mezö-Madaras. Eingetragen wurden nur die jeweils koexistierenden Olivine. weiß: Olivine, koexistierend mit Spinellen sensu stricto; schraffiert: Olivine, koexistierend mit intermediären Spinellen; schwarz: Olivine, koexistierend mit Chromiten.

durchschnittliche Fayalit-Gehalt des Olivins beträgt 24,8 Mol-% in Übereinstimmung mit Van Schmus⁴, der 25,1 Mol-% fand. Seltener finden sich Chromite als winzige Kriställchen in den Matrices der Fragmente und Chondren. Eine brauchbare Analyse dieser scheiterte an der geringen Korngröße. Als zusätzliche Phase wurde in der Vergesellschaftung von Nickeleisen + Troilit + Chromit auch Whitlockit angetroffen.

Neben den überwiegenden normalen Chromiten wurden jedoch auch Spinelle gefunden, deren Zusammensetzung deutlich bis stark in Richtung Al-Spinell von den normalen Chromiten abweicht. Diese Ausnahmen sind an besondere Vorkommen gebunden:

- a) Eine feinfaserige, kryptokristalline Chondre (MMBM 6, Tab. 1, Abb. 1 und 7a) führt zwei mehr oder weniger stark gerundete Spinelle, wovon der eine opak, der andere rot durchscheinend ist. Weiters finden sich sehr kleine Spinelle in den an Olivin angereicherten Partien dieser Chondre. Die beiden großen Spinelle unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung sowohl von den normalen Spinellen als auch voneinander. Es koexistieren hier ein Cr-haltiger Al-Spinell und ein Al-haltiger Chromit.
- b) Ein feinfaseriges, kryptokristallines, fast isotropes Fragment (MMBM 11, Tab. 1), mit einigen undeutlich erkennbaren doppelbrechenden Phasen, enthält einen etwa 70 μm großen, stark korrodierten Al-reichen Chromit. Dessen Zusammensetzung ist sehr ähnlich dem oben beschriebenen Chromit aus MMBM 6.
- c) An einer glasigen Schock-Ader, die einige Fragmente und Chondren durchschlägt und deren Teile gegeneinander versetzt sind, findet sich ein chromit- und plagioklasreiches Mobilisat (Abb. 7b). Die Zusammensetzung dieses Chromits unterscheidet sich in den Cr_2O_3 -, Al_2O_3 -, FeO- und MgO-Gehalten von den normalen Chromiten (Tab. 1).