

Einige Chondren aus dem Meteoriten von Mezö-Madaras

GERO KURAT

Mineralogisch-petrographische Abteilung des Naturhistorischen Museums,
Wien, Austria

(Received 3 March 1967; accepted in revised form 22 May 1967)

Zusammenfassung—Die Analyse der Phasen und Matrices einiger Chondren aus dem Meteoriten von Mezö-Madaras ergab, daß diese Produkte eines komplexen Zusammenwirkens mehrerer Prozesse sind. So zeigte die Analyse der Gläser von zwei relativ gut erhaltenen Chondren, daß sich deren Chemismus mit dem Abstand von der Chondren-Oberfläche in charakteristischer Weise ändert. Daraus ließ sich ableiten, daß im finalen Stadium der Chondrenbildung Verdampfungs- und Kondensations-Prozesse wirksam waren.

Überdies zeigte es sich, daß der Chemismus der Matrices verschiedener Chondren in weiten Grenzen schwankt und von einer nephelinischen Zusammensetzung bis zu SiO_2 -übersättigten Systemen reicht. Diese Variabilität und das Vorkommen von extrem "unequilibririerten" Chondren schließen eine Metamorphose der Silikate im Meteoriten von Mezö-Madaras aus.

Mit den "unequilibririerten" koexistieren jedoch auch "teilweise equilibrierte" Chondren. Diese müssen daher ihre Charakteristika vor der Sedimentation erhalten haben. Eine Equilibration außerhalb des Gesteinsverbandes ist sehr wahrscheinlich nur durch eine Kristallisation aus einer stark unterkühlten Schmelze möglich.

Abstract—Analyses of coexisting minerals and interstitial groundmass in a few chondrules of the Mezö-Madaras chondrite show that the chondrules are the products of several complex and overlapping processes. For example, the glassy groundmass in two well preserved chondrules varies in composition with distance from the surface, and it is concluded that condensation and/or vaporization took place during the final stage of chondrule formation.

The composition of the interstitial material varies from nepheline to systems oversaturated in silica. These variations and the occurrence of extremely "unequilibrated" chondrules show that the Mezö-Madaras has not been subjected to any thermal metamorphism. Partly "equilibrated" chondrules coexist with "unequilibrated" ones. The former, therefore, must have obtained their present compositional features before the agglomeration, and it is most likely that the equilibration was caused by crystallization from strongly undercooled melts.

EINLEITUNG

DIE HERKUNFT und Entstehung der Chondren ist noch immer Gegenstand von mehr oder weniger spekulativen Theorien (z.B. TSCHERMAK, 1883; UREY, 1952; FISH *et al.*, 1960; MASON, 1960; RINGWOOD, 1961; WOOD, 1963; FREDRIKSSON und RINGWOOD, 1963; LEVIN, 1964; WHIPPLE, 1966). Dies hat seine Ursache darin, daß in letzter Zeit wohl viele Untersuchungen an Meteoriten gemacht wurden, jedoch nur sehr wenig Daten über die Bausteine der Chondrite, die Chondren existieren (z.B. FREDRIKSSON, 1963; KEIL und FREDRIKSSON, 1964; MERRIHUE, 1963; FREDRIKSSON und REID, 1965; SCHMITT *et al.*, 1965; KEIDEL, 1965; KURAT, 1967). Diese stellen individuelle Systeme dar und beinhalten daher alle Informationen über ihre Entstehung und möglicherweise auch über ihre Herkunft. Aus

diesem Grunde wurde versucht, durch Analyse der Phasen und der Matrices einiger extrem zusammengesetzter Chondren aus dem Meteoriten Mezö-Madaras, einige Anhaltspunkte zur Herkunft und Entstehung zu erhalten.

ANALYSENMETHODIK

Zur Analyse der Gemengteile wurde eine Mikrosonde vom Typ ARL verwendet. Gemessen wurde meist bei 15 kV Beschleunigungsspannung und $0,02-0,03 \times 10^{-6}$ A Probenstrom. Als Standards dienten analysierte Minerale und zwar: Olivin, Adular, Albit, Andesin, Anorthit, Benitoit und Quarz. Elemente, für die kein Mineralstandard verfügbar war und die nur in geringen Mengen in den zu analysierenden Phasen vorhanden sind, wurden gegen Reinststandards (100 %) gemessen. Die Standards wurden nach Möglichkeit so gewählt, daß die Konzentrationen eines bestimmten Elementes in Standard und Probe möglichst ähnlich waren. Die einzige Schwierigkeit bestand in der Messung der Alkalien. Durch Vergrößerung des Elektronenstrahl-Durchmessers konnte jedoch erreicht werden, daß auch die sehr alkalireichen Gläser rund 30 Sekunden stabil blieben, was meist für zwei Messungen pro Analysengebiet reichte. Die notwendigen Korrekturen wurden nach PHILIBERT (1965) mit den σ_{eff} -Werten nach DUNCUMB und SHIELS (1964) teils mittels Tabellen, teils mittels Computer nach FRAZER *et al.* (1966) gerechnet. Diese Korrekturprozedur versagte nur bei den Spinell-Analysen (MM XVI) deren Summen nach der Korrektur durchwegs zwischen 105 und 110 % lagen. Daher wurden dort die Konzentrationen nur größtenordnungsmäßig angegeben. Die Olivin-Analysen wurden mittels Eichkurve (Division of Meteorites, Smithsonian Institution Washington D.C.) korrigiert. Sämtliche Analysen wurden auf die in der Petrographie üblichen Oxyde umgerechnet, obwohl im Glas die Elemente Cr, Fe und Mn sicher auch in anderen Wertigkeiten- wenn auch wahrscheinlich untergeordnet-vorliegen.

ERGEBNISSE

Der Meteorit von Mezö-Madaras (KNÖPFLER, 1853) ist ein Chondrit der L-Gruppe (UREY und CRAIG, 1953; JAROSEWICH, 1966). Die Zusammensetzung der Phasen schwankt in weiten Grenzen (KEIL und FREDRIKSSON, 1964; KURAT, 1967) weswegen er nach DODD *et al.* (1967) als "unequilibrated ordinary chondrite" zu klassifizieren ist. Überdies ist dieser Meteorit eine polymikte Breccie (MEUNIER, 1871; WAHL, 1952) wobei in der ausgesprochen chondritischen Hauptmasse helle Bruchstücke eines "beinahe equilibrierten" gewöhnlichen Chondriten (VAN SCHMUS, 1966; KURAT, 1966) und dunkle, dem Aussehen nach kohligen Chondriten des Typs II entsprechende Bruchstücke eingestreut sind (VAN SCHMUS, 1966). Die hier beschriebenen Chondren stammen alle aus der "nicht-equilibrierten" Hauptmasse.

1. Glasführende Olivin-Chondre MM XX (Abb. 1; Tab. 1)

Langgestreckte und fleckige Olivine, welche z.T. zerbrochen und versetzt sind, liegen in einem rötlich-braunen Glas. Alle Olivine sind sehr stark undulös. Der Chondrenrand ist—wo er nicht ausgebrochen ist—dicht mit Olivinkristallen besetzt. Die langgestreckten Olivine sind extrem zonar gebaut (Olivin 1) wogegen die fleckigen Olivine im Inneren konstant zusammengesetzt sind und nur am Kristallrand eine starke Zunahme des Fe-Gehaltes zeigen (Olivin 2). Die Chondrenrand-Kristalle scheinen ähnlich aufgebaut zu sein, doch ist eine exakte Messung wegen der vielen Einschlüsse nur selten möglich. Vier Meßpunkte ergaben dieselbe Zusammensetzung (Olivin 3), daher sind diese Olivine möglicherweise in ihrer Zusammensetzung konstant. Das Glas ist sehr alkalireich und Si-arm, wobei die Zusammensetzung eine Abhängigkeit vom Abstand von der Chondrenoberfläche erkennen läßt. So zeigt

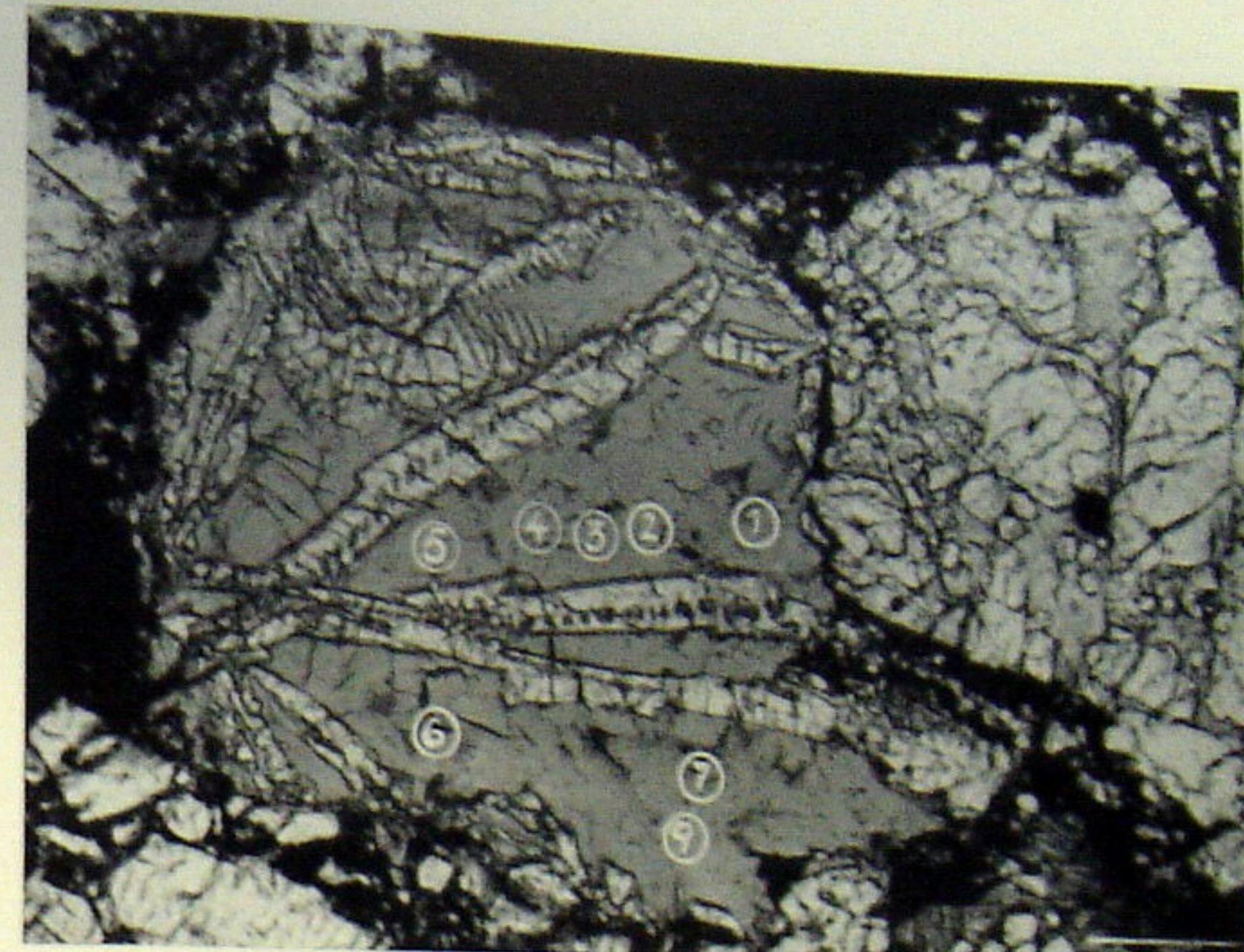


Abb. 1. Olivin—Glas—Chondre MM XX. Die verwerteten Glasanalysen sind eingetragen. Durchlichtaufnahme; || Nicols; Maßstablänge: 0,1 mm.

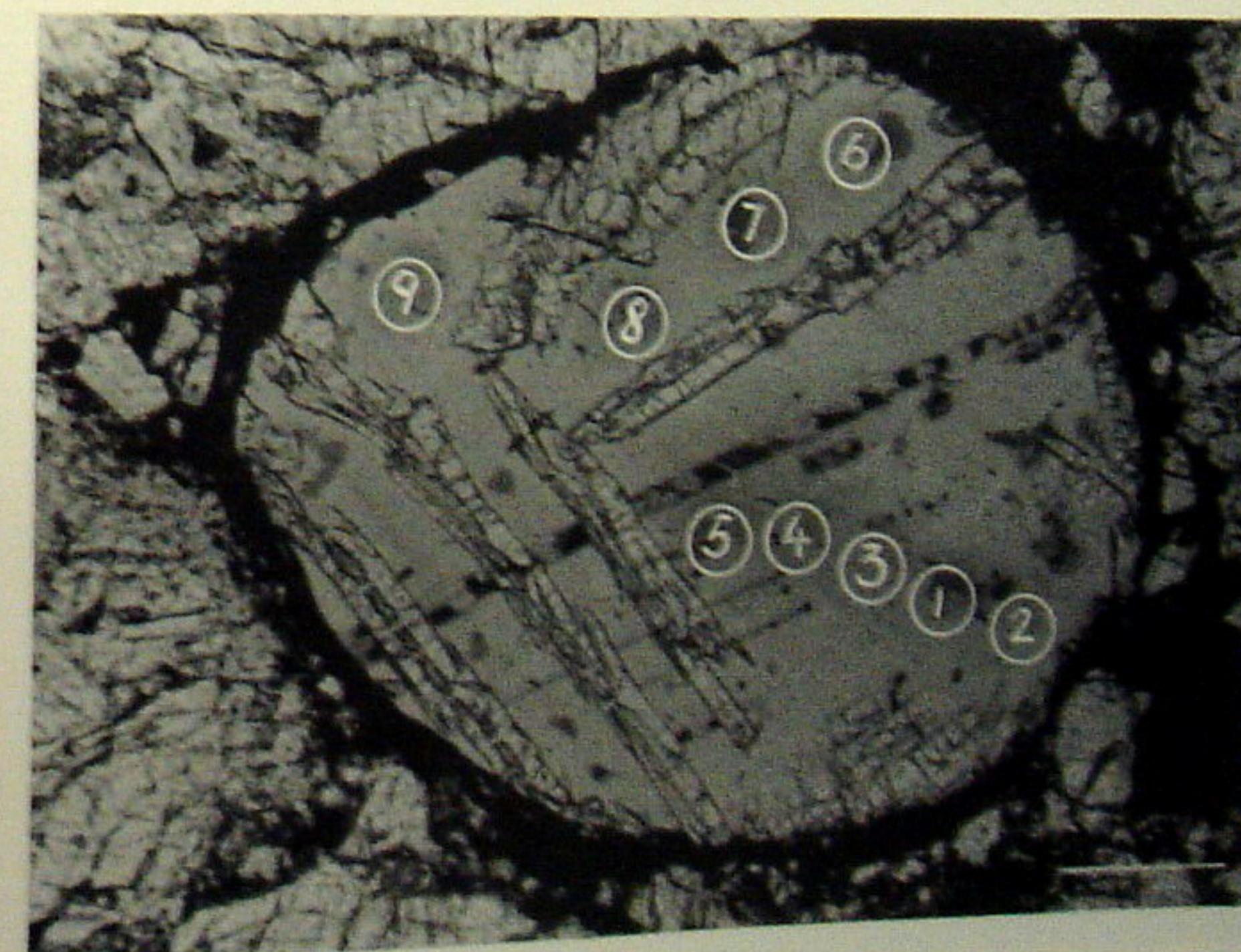


Abb. 3. Olivin—Glas—Chondre MM XXI. Die verwerteten Glasanalysen sind eingetragen. Die dunklen Flecken und Linien im Glas sind Brennspuren des Elektronenstrahls und Reste der Kohlenstoff-Bedämpfung (eckig). Durchlichtaufnahme; || Nicols; Maßstablänge: 0,1 mm.



Abb. 5: Olivin-Pyroxen-Chondre MM XXIII. Stark undulöse Olivine und verzwilligte Klinopyroxene (links unten mit gebogenen Lamellen) liegen in einer Matrix aus Glas und Pyroxen. Die Matrix-Analyse wurde im Zwickel rechts oben gemacht. Durchlichtaufnahme; × Nicols; Maßstabslänge: 0,1 mm.

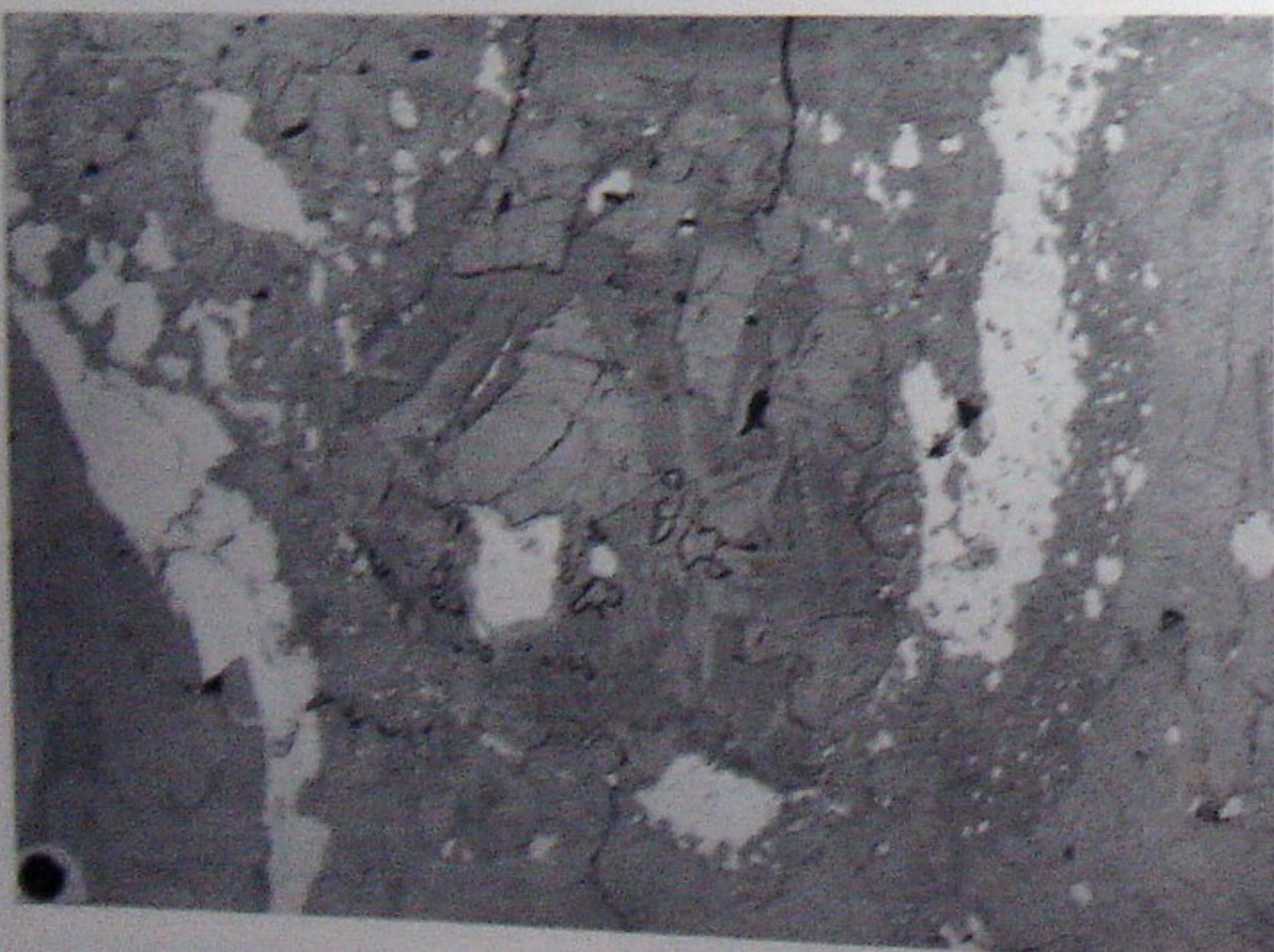


Abb. 6: Chondre MM XXVI. Spinelles (kraftiger Rand), Olivine (deutlicher Rand), Augite (schwacher bis verschwommener Rand) und Nickel-Eisen sind umgeben von Glas (dunkelgrau). Die Einbrennspuren des Elektronenstrahles sind im Glas deutlich erkennbar (zwischen großen zentralen Olivin und zwei subidiomorphen Augiten). Auflichtaufnahme; | Nicols; Maßstabslänge: 0,1 mm.

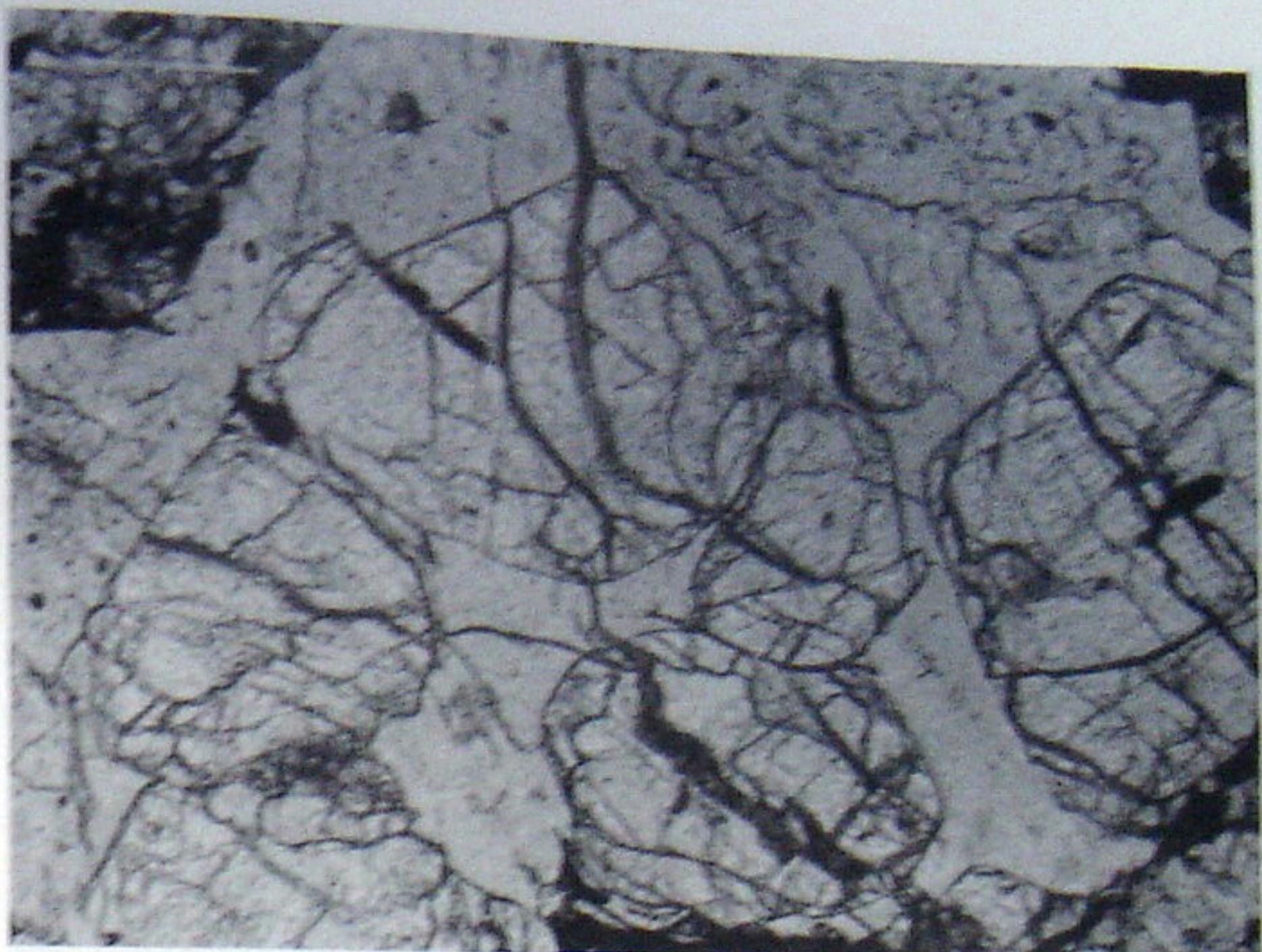


Abb. 7: Ausschnitt aus MM XXXI. Gerundete Olivine liegen in farblosem Glas, welches stellenweise viele Einschlüsse (runde, bläschenartige Gebilde) führt. Glas und Olivine werden von mit Limonit gefüllten Sprüngen (dunkelgrau bis schwarz) durchzogen. Durchlichtaufnahme; | Nicols; Maßstabslänge: 0,1 mm.



Abb. 8: Ausschnitt aus MM XXXII. In den von Olivinen und Pyroxenen gebildeten Zwickel ist deutlich der Nephelin (hellgrau ohne Relief) zu erkennen. Durchlichtaufnahme; | Nicols; Maßstabslänge: 0,1 mm.



Abb. 9. Ausschnitt aus der Abbildung 8. Nephelin (dunkelgrau) als Zwickelfüller umgeben von stark undulösen und deformierten Olivinen und Pyroxenen. Durchlichtaufnahme; teilweise \times Nicols; Maßstablänge: 0,1 mm.

Tabelle 1. Elektronenstrahl—Mikrosonden Analyse der Chondre MM XX

Gew.-%	Mittel	1	2	Glass*					Olivin 1 von зонар bis	Olivin 2 von зонар bis	Band Olivin
				3	4	5	6	7			
SiO ₂	54,3	54,5	55,2	56,0	55,2	52,4	52,0	55,4	54,0	—	—
Al ₂ O ₃	20,1	19,4	18,5	18,8	18,9	21,2	22,7	20,1	20,4	<0,05	—
Cr ₂ O ₃	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	—	—	—
FeO	6,3	6,0	5,8	5,3	5,9	6,8	6,8	5,9	8,8	31,4	—
MnO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,36	35,4
MgO	6,2	5,6	6,0	6,0	6,2	7,0	6,2	6,1	6,0	49,8	32,0
CaO	1,5	2,4	2,0	1,7	1,3	0,7	1,1	1,4	1,4	31,0	—
K ₂ O	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,26	<0,05	<0,05
Na ₂ O	11,9	11,9	11,8	11,7	11,7	12,8	11,6	11,8	12,1	—	—
Summe	100,9	100,2	99,8	100,1	99,8	101,5	101,0	102,1	100,5	—	—
Fe/Mg	0,570	0,601	0,543	0,496	0,534	0,546	0,616	0,626	0,552	0,099	—
Na/K	60,0	80,0	79,3	59,0	59,0	48,0	58,5	90,6	45,4	—	—

* TiO₂ < 0,05 %.

Tabelle 2: Elektronenstrahl—Mikrosonden Analyse der Chondre MM XXI

Gew.-%	Mittel	1	Glass*					Olivin zонар von bis
			2	3	4	5	6	
SiO ₂	57,2	68,0	57,6	57,8	56,3	58,4	56,1	58,4
Al ₂ O ₃	24,5	23,7	23,8	23,8	24,2	25,2	23,7	24,6
Cr ₂ O ₃	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	—
FeO	1,2	1,1	0,9	1,4	1,8	1,6	1,1	1,3
MgO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CaO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K ₂ O	3,5	3,6	3,8	3,4	3,8	3,6	3,3	3,1
Na ₂ O	13,1	12,7	12,0	13,0	12,5	13,0	12,8	13,6
Summe	99,9	99,5	99,1	99,8	99,3	100,4	100,0	101,1
Fe/Mg	0,68	0,0	0,25	7,80	10,0	8,92	6,12	6,68
Na/K	5,68	5,36	5,04	6,81	5,58	5,20	5,40	6,17

* TiO₂ und MnO < 0,05 %.

1846
die Analysenreihe 1-5 (Abb. 2), daß mit dem Abstand vom Chondrenrand
der Ca-Gehalt abnimmt,
der Mg-Gehalt zunimmt,
der Fe- und Al-Gehalt vorerst ab—(bis Nr. 3)
und dann wieder zunimmt und
der Si-Gehalt vorerst zu—(bis Nr. 3) und dann wieder abnimmt.

der Si-Gehalt vorerst zu—(bis Nr. 3) und dann wieder Das Fe/Mg verhält sich wie der Fe-Gehalt und das Na/K nimmt zum Chondreninneren hin stark ab.

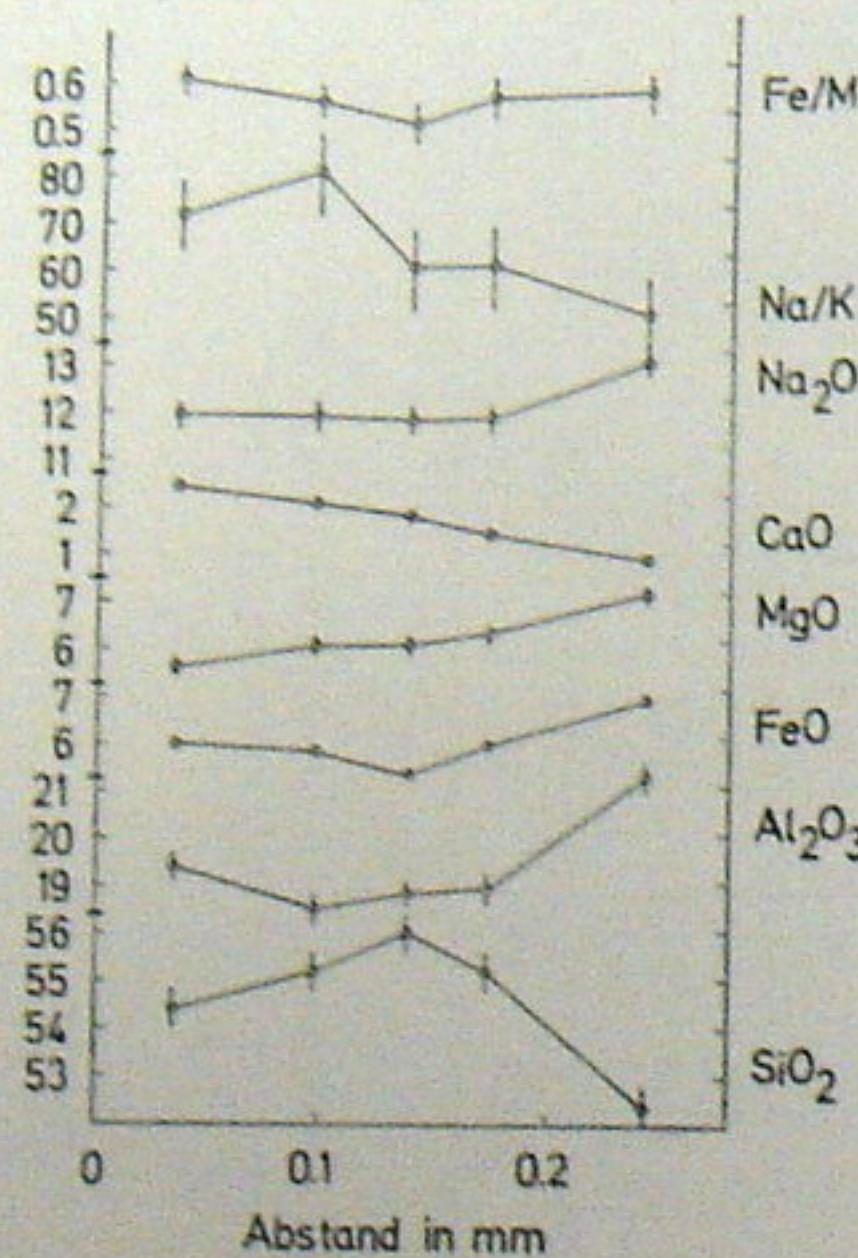


Abb. 2. Variation der Glaszusammensetzung in der Chondre MM XX mit dem Abstand vom Chondrenrand (Meßreihe 1-5 in Abb. 1). Da die Chondre deformiert und beschädigt wurde, konnten nur die Abstände der Meßpunkte in einer Reihe und nicht deren tatsächlichen Abstände von der Chondrenoberfläche als Parameter benutzt werden. Die abgeschätzten maximalen Meßfehler sind eingetragen.

Wie die Abb. I zeigt, wurde die Chondre beim Zusammentreffen mit den Nachbar-chondren deformiert wobei die langstengeligen Olivine z.T. gebrochen und versetzt wurden. Obwohl die Olivine stark undulös auslöschen, zeigt das Glas keine Spannungsdoppelbrechung, wurde also durch Wärmeeinwirkung entspannt.

2. Glasführende Olivin-Chondre MM XXI (Abb. 3; Tab. 2)

Langgestreckte und fleckige, etwas zerbrochene und an den Bruchstellen versetzte, stark undulöse Olivine liegen in einem leicht rötlich-bläulichen Glas. Die Chondre ist von viel Matrixmaterial, reich an Troilit, umgeben, ausgenommen an der Stelle, wo sie mit einer Nachbarchondre zusammentraf und absplitterte. Durch das Zusammentreffen wurden auch die Olivine (dicker Kristall am Rand und dünner Kristall innerhalb der Chondre), welche ungefähr senkrecht zur Aufstreffrichtung stehen, zerbrochen und die Bruchstücke wurden gegeneinander versetzt. Der

ursprüngliche Chondrenrand ist dicht besetzt mit Olivin-Kristalliten und -Skelett-kristallen. Alle Olivine sind extrem zonar gebaut, doch werden die Chondrenrand-Kristalle nicht so Fereich wie jene im Glas. Dieses Glas ist sehr Mg—Ca— und Si—arm, sehr reich an Alkalien und zeigt—ähnliche wie das Glas aus MM XX—

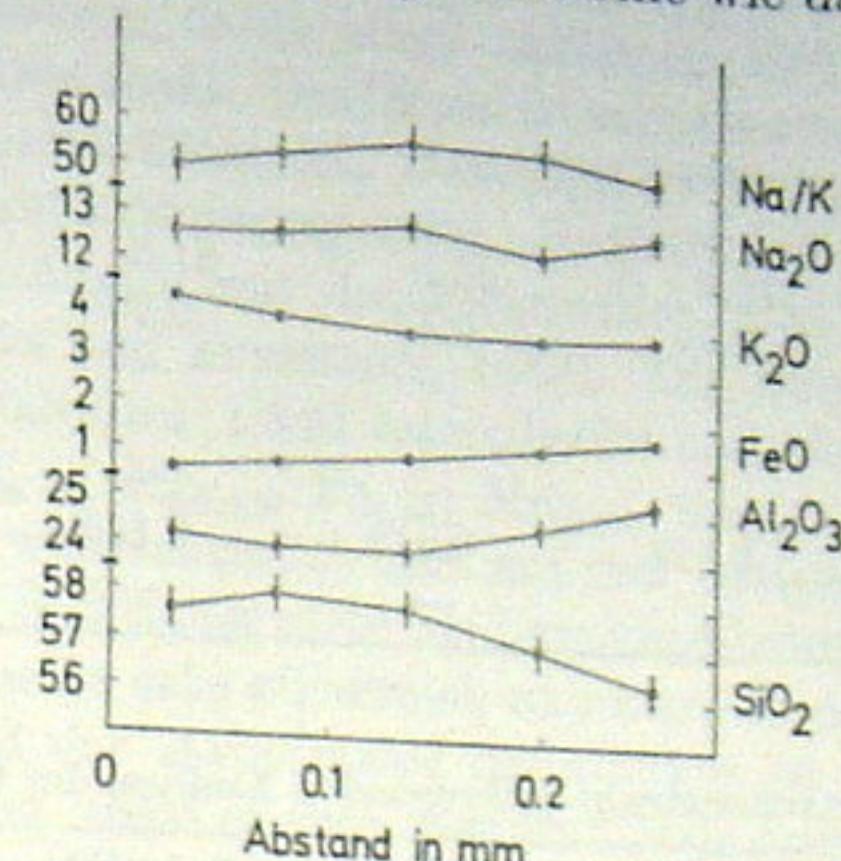


Abb. 4 Variationen der Glaszusammensetzung in der Chondre MM XXI mit dem Abstand vom Rand (Meßreihe 2-1-3-4-5 in Abb. 3). Da die Chondre nicht vollständig erhalten ist, konnten nur die Abstände zwischen den Meßpunkten und nicht die tatsächlichen Abstände von der Chondren-oberfläche als Parameter benutzt werden. Die abgeschätzten Fehler sind eingetragen.

eine Änderung der Zusammensetzung mit dem Abstand von der Chondrenoberfläche (Abb. 4). Betrachtet man die Analysenreihe 2-1-3-4-5, so zeigt sich, daß der Fe-Gehalt zum Chondreninneren hin steigt, der Si-Gehalt nach einer anfänglichen leichten Zunahme fällt, das Na/K bis zum Punkt 3 zu- und darnach wieder abnimmt, der Al_2O_3 -Gehalt vorerst leicht fällt und darnach stark steigt u. der K_2O -Gehalt leicht abnimmt.

3. Glasführende Olivin-Pyroxen-Chondre MM XXIII (Abb. 5; Tab. 3)

Die Chondre ist scharf, doch unregelmäßig begrenzt und weist zahlreiche Ausbruch-Stellen auf. Große xenomorphe Klinobronzite und Olivine (alle stark undulös) liegen in einer Matrix aus Glas und langfaserigen Pyroxen (wahrscheinlich Diopsid oder Augit). Der Olivin ist manchmal vollkommen von Klinopyroxenen umschlossen und zeigt einen Zonarbau in Form eines flachen Troges. Der Klinobronzit zeigt breite Zwillingslamellen, welche z.T. auch gebogen sind. Seine Zusammensetzung ist ziemlich konstant und schwankt nur ein wenig in kleinen Bereichen und an der Kristall-Oberfläche, wo er etwas Ca-reicher wird. Innerhalb der großen Kristalle schwankt der Ca-Gehalt ein wenig, zeigt jedoch keine Abhängigkeit von den Zwillingslamellen. Die Matrix ist stellenweise dicht durchsetzt von mehr oder weniger großen Nickel-Eisen und Troilit-Kügelchen. Ihre Zusammensetzung wurde an einer einschluß-armen Stelle gemessen, doch ist es nicht ausgeschlossen, daß etwas Ni-Fe-einschluß-armen Stelle gesmessen, doch ist es nicht ausgeschlossen, daß etwas Ni-Fe-

Tabelle 3. Elektronenstrahl-Mikrosonden Analyse der Chondre MM XXIII

Gew. %	Matrix*	2	Olivin		Pyroxen		Pyroxgen Rand
			von	bis	von	bis	
SiO ₂	63,2	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	11,3	—	—	—	<0,05	<0,05	<0,05
Cr ₂ O ₃	0,4	<0,05	<0,05	<0,05	10,7	14,3	14,0
FeO	9,8	17,6	26,5	—	—	—	—
MnO	0,3	—	—	—	—	—	—
MgO	2,5	42,6	35,5	31,5	28,5	29,5	—
CaO	6,1	0,14	0,14	0,24	0,29	1,1	—
K ₂ O	3,0	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	3,8	—	—	—	—	—	—
Summe	100,2	—	—	—	—	—	—
Fe/Mg	2,20	0,223	0,419	0,190	0,281	0,266	—
Na/K	1,92	—	—	—	—	—	—

* TiO₂ < 0,05 %.

Tabelle 4. Elektronenstrahl-Mikrosonden Analyse der Chondre MM XXVI

Gew. %	Glas*	Mittel	Olivin		Spinell*		Augit*	
			von	bis	von	bis	1	2
SiO ₂	55,1	—	—	—	—	—	44,8	45,3
Al ₂ O ₃	26,7	<0,05	<0,05	>60	>60	18,6	18,5	—
Cr ₂ O ₃	—	0,09	0,07	~0,6	~0,6	0,3	0,3	—
FeO	0,8	0,09	9,5	~17	~24	0,08	0,09	—
MnO	<0,05	<0,05	0,10	0,1	0,2	0,06	0,06	—
MgO	0,1	55,6	49,1	~15	~13	13,0	13,5	—
CaO	0,2	0,73	0,32	<0,05	<0,05	23,6	23,7	—
K ₂ O	3,0	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	14,8	—	—	—	—	—	—	—
Summe	100,7	—	—	—	—	<0,1	<0,1	—
Fe/Mg	4,44	0,0009	0,109	—	—	100,44	101,45	—
Na/K	7,5	—	—	—	—	0,003	0,004	—

* TiO₂ < 0,05 %.

die tatsächliche Absorption der verschiedenen Elementen nicht der tatsächlichen Verteilung entsprechend berechnen läßt.

4. Glasführende Olivin-Augit-Spinell-Chondre MM XXVI (Abb. 6; Tab. 4)

Große zerbrochene, doch z.T. auch subidiomorphe Olivine, subidiomorphe und skelettartige Augite und idiomorphe Spinelle liegen in farblosem Glas.

Die Spinelle sind klar durchsichtig und meist von Pyroxen umgeben für welchen sie wahrscheinlich die Kristallisationskeime—ähnlich wie die Nickel-Eisen-Einschlüsse—abgeben. Wegen des Fehlens geeigneter Standards konnte keine vollständige Analyse des Spinells erhalten werden (Die Korrekturrechnung versagt bei der Analyse gegen Feldspat- und Olivin-Standard). Aus den gemessenen Intensitäten ergab sich jedoch, daß es sich dabei um ein Glied der Spinell-Hercynit-Reihe handelt. Alle Spinelle sind beständig der Fe-Mg-Verteilung trogförmig zonar gebaut, wobei der Fe-Gehalt zur Kristalloberfläche hin zunimmt.

Einige Chondren aus dem Meteoriten von Mezö-Madaras

Der Olivin zeigt zum größten Teil eine einheitliche forsteritische Zusammensetzung und wird nur knapp an den Rändern oder manchmal auch innerhalb des großen Kristalles Fe-reicher (Einheitlich erscheinende große Kristalle erweisen sich oft aus mehreren parallel liegenden Kristallen zusammengesetzt, was optisch nicht zu sehen ist. Sie repräsentieren daher einen extremen Fall von Balken-Olivinen, welche zusammengewachsen sind). Der Olivin ist sehr Ca-reich, wobei der Ca-Gehalt mit Zunahme des Fe-Gehaltes abnimmt. Der Augit ist praktisch Fe-frei, extrem Al-reich und ziemlich konstant zusammengesetzt. Er führt mehr Al als die Al-reichsten terrestrischen Augite (Ti-Augite mit durchschnittlich 8,25 und maximal 14,29% Al₂O₃ nach DEER, HOWIE und ZUSSMANN, 1963). Die Berechnung zeigt, daß sich dieses ungefähr im Verhältnis 1:1 auf tetraedrische und oktaedrische Gitterplätze verteilt. Augit 1: (Ca_{0,905} Mg_{0,894} Fe_{0,002} Mn_{0,002} Cr_{0,005} Al_{0,889})₂(Si_{1,604} Al_{0,396})O₆. Der hohe Al-Gehalt ist wahrscheinlich nur auf den extrem hohen Al-Gehalt der Chondre zurückzuführen und daher nicht als Druckindikator zu werten.

Das klare farblose Glas ist sehr alkalireich und stark Si-undersättigt. Im Gegensatz zu den Augiten und der Hauptmasse der Olivine ist hier das Fe gegenüber dem Mg stark angereichert, wenn es auch mengenmäßig kaum in Erscheinung tritt.

Die Zusammensetzungen der Phasen und des Glases zeigen, daß diese Chondre extrem Al-reich und Si-arm ist und das Fe hauptsächlich im Nickel-Eisen vorliegt. Die Chondre ist daher als stark reduziert anzusprechen.

Sämtliche Phasen—with Ausnahme des isotropen Spinells—zeigen eine stark undulöse Auslöschung.

Der Umriss der Chondre ist etwas unregelmäßig, doch gut erkennbar. Die Chondre scheint jedoch mit feinkörnigem Matrix-Material und eigenen Bruchstücken stark verwachsen.

5. Glasführendes porphyrisches Fragment MM XXXI (Abb. 7; Tab. 5)

Ein längliches Bruchstück (maximale Länge 1,31 mm, Breite 0,61 mm) einer Chondre oder eines prä-Mezö-Madaras Gesteines mit einer unregelmäßigen, häufig muscheligen Begrenzungsfläche, führt große subidiomorphe, zum Teil gerundete, stark undulöse Olivine und farbloses Glas. Es wird von mehreren limonitgefüllten Sprüngen durchzogen, an denen die Olivine manchmal ein wenig versetzt sind. Diese Olivine sind leicht zonar, wobei der Zonarbau die Form eines flachen Troges ohne steile Ränder hat. Das Glas ist Fe-, Mg- und Ca-arm, jedoch ungewöhnlich reich an K und etwas Si-übersättigt. Es führt stellenweise sehr feine kristalline Bruchstücke und ist voll von kleinen, mit Limonit gefüllten Sprüngen und bläschenartigen Einschlüssen, welche z.T. die Unrisse der Olivinkristalle in einiger Entfernung von diesen abbilden. Bei stärkerer Vergrößerung erscheint das Glas auch sehr schlierig.

6. Kristallines nephelinführendes Fragment MM XXXII (Abb. 8 und 9; Tab. 6)

Ein unregelmäßig begrenztes Bruchstück einer Chondre oder eines prä-Mezö-Madaras Gesteines von 1,65 mm maximaler Länge und 0,70 mm maximaler Breite führt Olivin, Pigeonit, und Nephelin. Alle Phasen sind stark undulös. Der Olivin (subidiomorph bis xenomorph) ist konstant zusammengesetzt. Das Matrix-Mineral ist arm an Einschlüssen, farblos, klar durchsichtig, sehr schwach doppelbrechend (dunkelgrau bis schwarzgrau) und einachsig negativ. Demnach dürfte es sich dabei

Tabelle 5. Elektronenstrahl-Mikrosonden Analyse der Chondre MM XXXI

Gew. %	Mittel	Glas*						Olivin zonar von bis
		1	2	3	4	5	6	
SiO ₂	67,6	67,9	68,2	68,1	67,0	67,2	67,4	67,9
Al ₂ O ₃	18,0	18,4	18,1	17,8	17,5	18,2	18,0	18,5
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO	0,62	0,67	0,50	0,51	0,69	0,98	0,66	0,97
MgO	0,39	0,35	0,33	0,26	0,17	0,48	0,92	0,54
CaO	0,47	0,58	0,54	0,56	0,63	0,35	0,30	0,43
K ₂ O	4,6	4,6	4,6	4,8	4,3	5,0	4,1	4,8
Na ₂ O	8,0	7,6	8,5	8,1	8,1	7,4	8,5	8,4
Summe	99,68	100,10	100,77	100,92	99,89	98,71	99,88	100,54
Fe/Mg	0,886	1,07	0,854	1,15	2,29	1,14	0,404	1,01
Na/K	2,65	2,51	2,81	2,56	2,86	2,25	3,15	2,66

* TiO₂ und MnO < 0,05 %.

Tabelle 6. Elektronenstrahl-Mikrosonden Analyse der Chondre MM XXXII

Gew. %	Mittel	Nephelin*				Olivin	Pigeonit	3
		1	3	4	5			
SiO ₂	45,3	46,0	46,1	45,0	44,9	44,5	—	—
Al ₂ O ₃	33,6	33,6	34,0	33,3	33,4	33,5	—	—
FeO	0,54	0,58	0,53	0,46	0,81	0,34	21,8	14,8
MgO	0,61	0,52	0,59	0,58	1,0	0,35	41,1	25,3
CaO	0,40	0,20	0,49	0,28	0,77	0,25	0,36	20,0
K ₂ O	0,37	0,37	0,44	0,33	0,38	0,34	4,3	13,8
Na ₂ O	19,7	19,8	19,9	19,7	19,5	19,7	—	6,7
Summe	100,52	101,07	102,05	99,65	100,76	99,00	—	—
Fe/Mg	0,496	0,628	0,507	0,444	0,456	0,540	0,298	0,330
Na/K	81,4	81,9	68,3	90,8	78,6	88,2	—	0,320

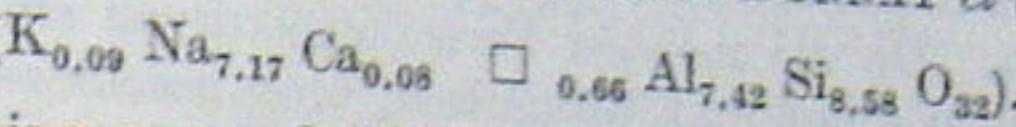
* TiO₂ und MnO < 0,05 %.

Einige Chondren aus dem Meteoriten von Mezö-Madaras

um eine der beiden Naphelin-Modifikationen handeln [Tieftemperatur und Hochtemperatur-Nephelin sind nach DONNAY *et al.* (1959) beide hexagonal], da der bei hohen Temperaturen stabile Carnegieit kubisch ist (SMITH und TUTTLE, 1957). Auch der Nephelin zeigt nur geringe Schwankungen in der Zusammensetzung. Die Berechnung der Formel aus dem Analysenmittel ergibt



was ziemlich genau der theoretischen Formel nach DONNAY *et al.* (1959) entspricht



Der subidiomorphe bis xenomorphe Pigeonit ist z.T. konstant (Nr. 1), zeigt jedoch eine zonare Ca-Verteilung, wobei das Fe/Mg mit zunehmendem Ca-Gehalt kleiner wird, wie es dem Trend des Gleichgewichtes zwischen Ca-reichen und Ca-armen Pyroxen entspricht (vergl. z.B. BARTHOLOME, 1962). Die Analysen sind leider etwas ungenau, da in diesem starken Konzentrationsgefälle die Korrektur auch von der Geometrie der Mikrosonde beeinflußt wird. Nur ganz vereinzelt finden sich Ca-reiche Entmischungs-, jedoch keine Zwillingslamellen.

DISKUSSION

Die Analyse der Phasen und Matrices der oben beschriebenen Chondren zeigt, daß sie ihre Entstehung einem komplexen Zusammenwirken mehrerer Prozesse verdanken. Diese Prozesse und ihre Ursachen sind heute, bedingt durch das Fehlen von diesbezüglichen Experimenten und einer größeren Zahl von detaillierten Daten, noch nicht klar durchschaubar. Trotzdem soll im Folgenden versucht werden, die wichtigsten Ergebnisse und deren Regelmäßigkeiten zu diskutieren.

A. Glas bzw. Chondrenmatrices und die Entstehung der Chondren

Das Vorkommen von Glas in Meteoriten ist seit SORBY (1864) bekannt und vor allem von TSCHERMAK (z.B. 1883) ausführlich beschrieben worden. Allerdings herrschte über die Zusammensetzung der sogenannten primären Gläser vollkommene Unklarheit und erst WOOD (1963) und vor allem FREDRIKSSON und REID (1965) und REID und FREDRIKSSON (1966) zeigten, daß diese Gläser hauptsächlich eine albítische Zusammensetzung besitzen. Die vorliegenden Daten zeigen jedoch, daß der Zusammensetzungsbereich wesentlich größer ist und von einem SiO₂-untersättigten Chemismus bis ins Alkali-Feldspat-Quarz-System reicht.

Da zum Wesen der "unequilibrirten" Chondren auch ein starkes Schwanken der chemischen Zusammensetzung und damit auch der Phasenzusammensetzung charakterisiert durch das Fe/Mg-verhältnis gehört, ist es weiter nicht verwunderlich, daß auch das Na/K in weiten Grenzen schwankt (90,8 in XXXII bis 1,92 in XXIII). Auffallend ist dabei nur, daß dieses Na/K, welches durch keine Mineralbildungen in den vorliegenden Chondren verfälscht wurde und daher dem pauschalen Na/K der Chondren entspricht, diese in 2 Gruppen teilt. [Der von DODD *et al.* (1965) beschriebene Merrihueit konnte in den verwendeten Schliffen nicht beobachtet werden.] Dabei klafft gerade dort, wo das Na/K der Analyse des Meteoriten von Mezö-Madaras (13,3 nach JAROSEWICH, 1966) liegt, eine breite Lücke und zwar von Na/K = 45,4 (XX) bis Na/K = 7,5 (XXVI). Vielleicht schließt sich in Zukunft diese Lücke mit der

steigenden Anzahl der Daten, sie kann aber auch bestehen bleiben. Ist das der Fall, dann stammen die Chondren der verschiedenen Gruppen entweder von verschiedenem Ausgangsmaterial ab, oder es wurden an ihnen mindestens zwei verschiedene Prozesse in verschiedenem Grade (also in verschiedenem Milieu) wirksam.

Daß diese Zusammensetzung der Chondren in einem Abhängigkeitsverhältnis mit der zur Zeit der Bildung vorhandenen Gasphase steht, zeigen die an den zwei relativ gut erhaltenen Chondren gemachten Glasanalysen. Dabei zeigt das Glas eine Abhängigkeit der Zusammensetzung von der Entfernung von der Chondrenooberfläche (Abb. 2 u. 4). Da die meisten Verteilungskurven ein Maximum oder ein Minimum oder einen Wendepunkt beinhalten, muß geschlossen werden, daß die Verteilung der Elemente das Ergebnis einer Überlagerung von mindestens zwei Prozessen ist. Dabei wäre eine Kombination der folgenden Prozesse möglich.

1. Ein Verlust bestimmter Elemente an der Chondrenooberfläche (z.B. ein Verdampfen der leichtflüchtigen Elemente K, Na und wahrscheinlich in Form einer leichtflüchtigen Verbindung auch Si; vergl. WALTER, 1966). Dies führt zur Ausbildung eines Konzentrationsgradienten für alle vorhandenen Elemente. Dabei verarmt die Oberfläche an leichtflüchtigen Elementen, wogegen die schwerflüchtigen dort angereichert werden. Außerdem sollte das Na/K größer werden.

Entgegengesetzte Konzentrationsgradienten verursachen.

2. Eine bevorzugte Kondensation der relativ leichtflüchtigen Elemente an der Chondrenooberfläche und

3. Ein möglicher Temperaturgradient beim Abkühlen der Chondre.

Voraussetzung für die sichtbare Überlagerung dieser Prozesse ist eine genügend kleine Diffusionsgeschwindigkeit (also niedrige Temperatur) in Verbindung mit einem kurzen zeitlichen Ablauf. Am wahrscheinlichsten ist eine (vielleicht auch mehrfache) Kombination der Prozesse 1 und 2. Zumindest dürften diese überwiegen, da die für die Ausbildung eines Konzentrationsgradienten durch einen Temperaturgradienten notwendige hohe Diffusionsgeschwindigkeit die Konzentrationsgradienten der vorhergegangenen Prozesse zerstören müßte. Andeutung dafür sind in der Verteilung des Eisens in XXI und des Magnesiums in XX zu sehen.

Eine Andeutung eines derartigen Kondensationsprozesses ist auch in der durch 4 Analysen belegten K-reichen Chondrengruppe (Abb. 10) zu sehen. Dabei fällt in der Reihe MM XXVI-XXI-XXXI-XXIII mit steigendem Si-Gehalt des Glases dessen Na/K. Diese Beziehung ist sicherlich nicht zufällig, sondern spiegelt wahrscheinlich einen Fraktionierungsprozeß wider. Dieser wurde jedoch erst im Endstadium der Chondrenbildung wirksam. Man muß annehmen, daß ein Großteil der Chondren schon vor diesem finalen Prozeß existierte. Deren Zusammensetzung sowie die Menge und die Zusammensetzung des letzten Kondensationsproduktes sind nicht bekannt. Auch die Zusammensetzung des Glases hängt überdies noch vom Kristallisationsvorgang in der Chondre ab. Daher läßt sich der finale Prozeß auch nicht quantitativ verfolgen. Der Hinweis ist also nur in den relativen Beziehungen von Na zu K und von Na/K zu Si zu erkennen. Nach NAUGHTON *et al.* (1965) hat das K auf der Oberfläche von Silikaten einen höheren Dampfdruck als das Na. Dies ist auch nach den Siedepunkten der Oxyde (BREWER, 1953) zu erwarten [steht aber im Gegensatz zu den von LARDNER (1967) errechneten Kondensations-Temperaturen von $KAlSi_3O_8$ und $NaAlSi_3O_8$; allerdings erfolgte die Kondensation der Alkalien

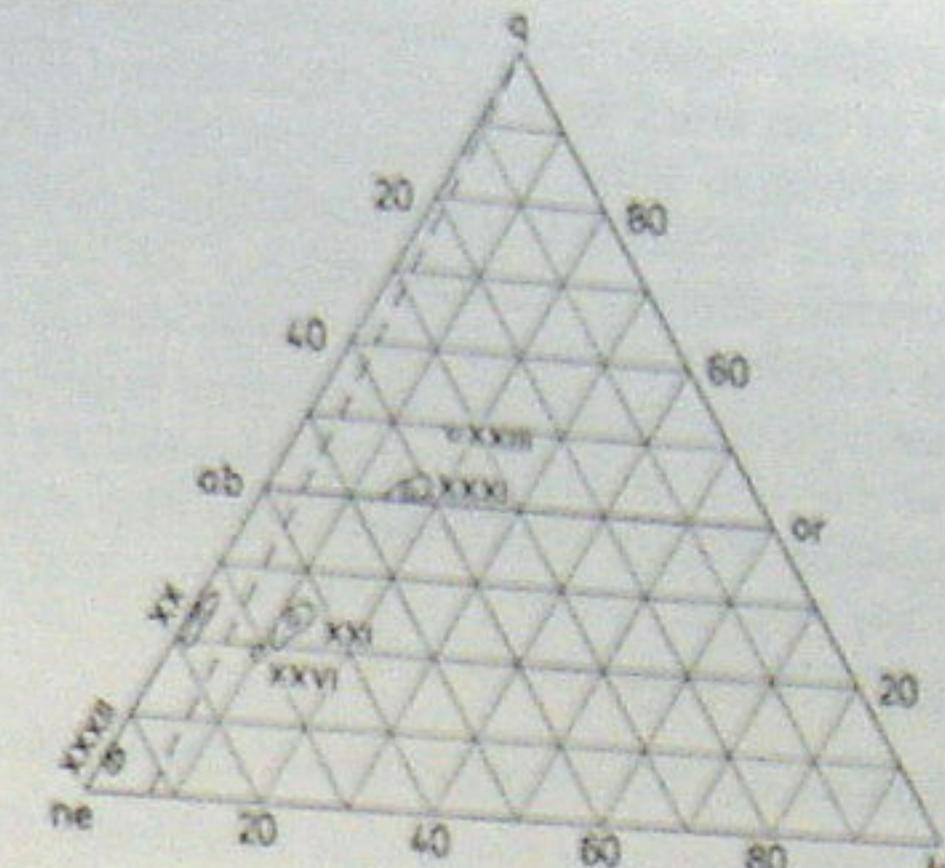


Abb. 10. Das System $NaAlSiO_4$ - $KAlSiO_4$ - SiO_2 (Mol. %). Eingetragen sind die Durchschnittsanalysen der Matrices (○) mit dem Streubereich der Einzelanalysen. Keine der Glasanalysen liegt in einem Temperaturminimum der Liquidus. Die Streufelder sind jedoch alle in Richtung des größten Temperaturgefälles gestreckt.
— — : Paulschales $Na/Na + K$ des Meteoriten von Mező-Madaras nach JAROSIEWICH (1966).

Tabelle 7. CIPW-Norm der Chondrenmatrices (Mittel)

	MM XX Glas	MM XXI Glas	MM XXIII Matrix	MM XXVI Glas	MM XXXI Glas	MM XXXII Nephelin
q	—	—	9,4	—	1,8	—
c	—	—	—	—	—	0,2
or	1,5	19,0	18,0	16,0	26,0	2,0
ab	43,0	38,0	34,5	29,5	69,0	8,5
an	0,5	—	5,0	—	—	1,5
ne	33,0	39,6	—	51,3	—	86,1
$Na_2O \cdot 2SiO_2$	—	1,6	—	1,8	0,2	—
dio	5,2	0,4	20,4	0,8	2,0	—
hy	—	—	12,2	—	1,0	—
ol	16,5	1,2	—	0,6	—	1,7
chr	0,2	0,2	0,5	—	—	—

in den vorliegenden Fällen sicherlich nur zum geringen Teil in Form von Feldspat- "Molekülen"). Demnach sollte mit fortschreitender Kondensation der Alkalien das Na/K kleiner werden, was durch die genannte Reihe realisiert wäre. In dieser Reihenfolge fällt auch das (Na + K)/Si der Gläser und der Chondren. In welcher Form das Si kondensiert ist unbekannt. Dies wird sich auch mit den chemisch-physikalischen Bedingungen ändern. Das Verdampfungs-Experiment von WALTER (1966) zeigt jedoch klar, daß das Si äußerst leichtflüchtig ist. Demnach sollte es sich auch bei der Kondensation im Endstadium anreichern, was sich gut in das oben entworfene Bild einfügt.

Ein Teil der Glasanalysen zeigt bei der Berechnung der CIPW-Norm (Tab. 7) einen Überschuß von (Na + K) über Al, welcher in den meisten Fällen wegen des geringen Fe-Gehaltes nicht durch Akmit-Bildung kompensiert werden kann. In

viele Fällen reicht dazu nicht einmal der Gesamt-Fe-Gehalt aus. Noch viel geringer ist der Fe²⁺-Gehalt, der in den stark reduzierten Chondren (XXI, XXVI) maximal 10% des Gesamteisens betragen kann (JONSTON, 1964). Das überschüssige Na wurde daher als Na₂O, 2SiO₂ verrechnet. Die Möglichkeit, daß der Alkalitüberschuß auf Fehler in der Korrekturenrechnung zurückzuführen ist, ist gegeben, doch nicht sehr wahrscheinlich, da dieselbe Berechnung im Falle des Nephelins und bei der Berechnung von Feldspäten keinen derartigen Überfluß ergab. Dieser könnte daher real sein, was wiederum für eine fraktionierte Kondensation im Spätstadium der Chondrenausbildung sprechen würde. Außerdem wäre dies ein Hinweis dafür, daß die Alkalien nicht nur als (Na, K) AlSiO₄ oder (Na, K) AlSi₂O₆, sondern auch in Form anderer Verbindungen kondensierten.

B. Zur Frage der "Equilibrierung" "unequilibrirter" Chondrite

WOOP (1963), in etwas milderer Form DODD und VAN SCHMUS (1965), VAN SCHMUS und WOOD (1967), sowie DODD *et al.* (1967) verachteten, die "equilibrierten" gewöhnlichen Chondrite von den "unequilibrirten" gewöhnlichen Chondriten (wie z.B. Mezö-Madaras) abzuleiten. Sie schlugen eine Thermometamorphose vor, welche durch eine partielle Diffusion von Fe und Mg die ferromagnesischen Silikate equilibriert. Da ein derartiger Prozess naturgemäß stark temperatur- und zeitabhängig ist, sollten auch Übergangsprodukte also nur teilweise "equilibrierte" Chondrite existieren. Diese suchten und fanden DODD *et al.* (1967) in einer Reihe von "unequilibrirten" gewöhnlichen Chondriten. Auf Grund des niedrigen %MD-Wertes ("mean deviation") des Fe-Gehaltes von Olivin und Pyroxen klassifizierten sie auch den Meteoriten von Mezö-Madaras als leicht metamorph (gegenüber Krymka, Eishunpur und Hallingeberg). Der in den Chondren MM XX, XXI und XXVI beobachtete extreme Zonarbau des Olivins widerlegt diese Auflassung, denn er widerspricht dem dafür vorgeschlagenen Mechanismus. Eine Equilibrierung durch "partielle Diffusion" sollte zuerst die extremen Fälle eliminieren, da sie ja durch das Konzentrationsgefälle verursacht wird. Da dies innerhalb der Chondren und innerhalb der kleinen Kristalle auf kleinstem Raum (ca. 10 μ) nicht geschah, ist nicht einzusehen, warum ein derartiger Prozess zwischen den Chondren wirksam gewesen sein sollte. Demnach ist der Meteorit von Mezö-Madaras als nichtmetamorph (im obigen Sinne) zu betrachten.

Diese Thermometamorphose sollte auch eine Devitrifikation der Gläser bewirken, da diese in den "equilibrierten" Chondriten nicht vorhanden sind. Die bisher gemachten Analysen von Gläsern und Matrices (REID und FREDRIKSSON, 1966; KURAT, 1966) zeigten jedoch, daß der Chemismus der Matrices völlig verschieden von dem der Gläser ist (vergleiche z.B. MM XXIII als intermediäres Beispiel). Die Entstehung der feinkristallinen Chondren-Matrices ist daher nicht auf eine Devitrifikation, sondern auf die Unmöglichkeit, diese Schmelzen unter den bei der Chondrenausbildung herrschenden Bedingungen zu Glas abzuschrecken, zurückzuführen.

Weiters sind die Gläser in MM XX und XXI und somit auch die Chondren stark Si-untersättigt. Diese sollten im Gleichgewicht die Mineralassoziation Olivin + Plagioklas + Nephelin führen. Trotzdem derartige Chondren in den "unequilibrirten" Chondriten relativ häufig vorkommen, wurde die angeführte Mineralassoziation in den "equilibrierten" Chondriten noch nie beobachtet. In ähnlichen

Chondren "equilibriert" Chondrite finden wir nur Olivin und Plagioklas. Um diese von Chondren wie MM XX und XXI mit Hilfe der WOOD-DODD-VAN SCHMUS-Theorie abzuleiten, muß im Zuge der Metamorphose zumindest auch (neben Fe und Mg) Si zu- und Alkalien + Aluminium abgeführt werden. Überdies muß in Chondren wie MM XXXI und XXIII das Si-übersättigte Glas mit dem vorhandenen Olivin reagieren, um Pyroxen zu bilden. Dies bedeutet, daß beim Prozess der "Equilibrierung" nicht nur Fe und Mg, sondern alle Elemente diffundieren müssen. Bei der dazu nötigen Temperatur (praktisch die Liquidus-Temperatur der Gläser) und den wahrscheinlich stattfindenden Reaktionen ist eine weitgehende Rekristallisation und damit eine Zerstörung der primären chondritischen Textur zu erwarten. Demnach ist eine Ableitung der "equilibrierten" Chondrite von den "unequilibrirten" des Typs Mezö-Madaras nicht möglich.

Mit den Chondren, welche extrem zonare Olivine führen, koexistieren Chondren, welche homogene Olivine besitzen. Das in der vorliegenden Arbeit beschriebene Beispiel ist MM XXXIII. Hier koexistieren ein homogener Olivin mit einem z.T. konstanten z.T. zonaren Pigeonit und einem praktisch homogenen Nephelin. Es liegt hier wohl ein extremes Ungleichgewicht vor, da der Nephelin, dessen Kristallisation sich aus der geringen Glasbildungstendenz monomineralischer Schmelzen erklärt (z.B. HINZ, 1963), neben Pigeonit nicht stabil ist (TULLEY, 1952). Andererseits täuschen der homogene Olivin und der Pigeonit ein teilweises (die Fe-Mg-Verteilung betreffendes) Gleichgewicht vor. Der Pigeonit ist z.T. wohl zonar, doch mit steigendem Ca-Gehalt nimmt das Fe/Mg ab. Dies entspricht dem Trend des Gleichgewichtes zwischen Ca-armen und Ca-reichen Pyroxen und steht in großen Gegensatz zu fraktionierten Kristallisaten aus Vulkaniten. Die in jüngster Zeit von DALLWITZ *et al.* (1966) untersuchten Klinopyroxen-Einsprenglinge zeigen mit der Zunahme des Ca-Gehaltes auch ein starkes Ansteigen des Fe/Mg. In MM XXXII ist also nur das Fe und Mg scheinbar dem Gleichgewicht entsprechend verteilt. Nach der WOOD-DODD-VAN SCHMUS-Theorie also "teilweise equilibriert". Neben diesem Fragment MM XXXII koexistieren auch echte, "teilweise equilibrierte" Olivine führende Chondren—wie MM I, IV und IX (vergl. KURAT, 1967)—mit extrem "unequilibrirten" Chondren wie MM XX, XXI und XXVI. Es ist klar, daß diese nicht im Gesteinsverband "teilweise equilibriert" wurden, sondern ihre Charakteristika schon vor der Sedimentation erhalten haben müssen.

Die "equilibrierte" Fe-Mg-Verteilung in Olivin und Pyroxen dieser Chondren muß daher primär eine andere Ursache haben. Sie ist sehr wahrscheinlich auf eine Kristallisation dieser Phasen aus einem stark unterkühlten System zurückzuführen (FREDRIKSSON, 1963; KURAT, 1967). Diese kann dabei theoretisch in den "equilibrierten" wie in den "unequilibrirten" Chondren bei ungefähr derselben Temperatur stattfinden, da die Liquidi der Chondren—von deren Zusammensetzung bestimmt—bei sehr verschiedenen Temperaturen liegen. Demnach ist auch der Grad der Unterkühlung zum Zeitpunkt der Kristallisation ein verschiedener. Dies läßt sich auch mittels der hier untersuchten Chondren demonstrieren. Der Zonarbau der Phasen (= Grandmesser des Ungleichgewichtes) ist in Gegenwart von viel Glas extrem (MM XX, XXI). Dies bedeutet, daß diese Phasen nahe der Liquidus (also im gering unterkühlten System) kristallisierten. Mit der Abnahme des Glasgehaltes (= Ansteigen der Liquidus-Temperatur der Chondre) in der Reihe MM XX,

XXI-XXVI-XXXI-XXIII verflacht der Zonarbau des Olivins zusehens, um im extremsten Fall (MM XXXII) eine konstante Zusammensetzung anzunehmen. Damit lassen sich qualitativ auch die Beobachtungen von DODD *et al.* (1967) erklären. Betrachtet man eine Anzahl von Schmelztröpfchen normalchondritischer Zusammensetzung und läßt diese bei sukzessiv tieferen Temperaturen (also stärkerer Unterkühlung) kristallisieren, so sollte sich genau die von DODD *et al.* (1967) aufgestellte "Reihe stärker werdender Metamorphose" (z.B. Krymka-Mezö-Madaras-Barratta-Bjurböle) ergeben.

Eine zusätzliche Komplikation ergibt sich nur daraus, daß die pauschale Zusammensetzung der Chondren in den "unequilibrirten" Chondriten wahrscheinlich wesentlich variabler ist als in den "equilibrierten". Dies ergibt eine zusätzliche Erweiterung der Variationsbreite der Phasenchemismen.

Die Ursachen einer solchen primären Differenzierung können heute noch nicht erkannt werden. Als brauchbare Arbeitshypothese kann man diese Chondrite jedoch als Randfacies der gewöhnlichen Chondrite betrachten, deren Genesis durch ein- oder mehrmaliges Wiederausschmelzen, Verdampfen und Kondensieren gekennzeichnet ist.

Anerkennungen—Die vorliegende Arbeit wurde durch das große Entgegenkommen von Dr. K. FREDRIKSSON ermöglicht, welcher mir die Mikrosonde und andere Einrichtungen seines Institutes zur Benützung frei stellte. Dafür und für sein lebhaftes Interesse an der Arbeit darf ich ihm aufrichtig danken. Zu Dank verpflichtet bin ich auch Herrn Dr. A. M. REID, welcher einige Daten für den Computer präparierte und das Rechnen überwachte, Herrn G. JAROSEWICH, der die unveröffentlichte Analyse des Meteoriten von Mezö-Madaras zur Verfügung stellte, sowie Herrn C. FIOSSI für die technische Assistenz beim Arbeiten mit der Mikrosonde.

LITERATUR

- BARTHOLOME P. (1962) Iron-magnesium ratio in associated pyroxenes and olivines. *Geol. Soc. Am. (Buddington Vol.)*, 1-20.
- BEEWER L. (1953) The thermodynamic properties of the oxides and their vaporization processes. *Chem. Rev.* **52**, 1-76.
- CAMERON A. G. W. (1966) The accumulation of chondritic material. *Earth Plan. Sci. Letters* **1**, 93-96.
- DALLWITZ W. B., GREEN D. H. und THOMPSON J. E. (1966) Clinoenstatite in a volcanic rock from the Cape Vogel area, Papua. *J. Petrol.* **7**, 375-403.
- DEER W. A., HOWIE R. A. und ZUSSMAN J. (1963) *Rock Forming Minerals*. Longmans.
- DODD R. T. und VAN SCHNEIDER W. R. (1965) The unequilibrated ordinary chondrites: A survey. *J. Geophys. Res.* **70**, 3801-3811.
- DODD R. T., VAN SCHNEIDER W. R. und MARVEL U. B. (1965) Marrihueite, a new alkali-ferromagnesian silicate from the Mezö-Madaras chondrite. *Science* **149**, 972-974.
- DODD R. T., VAN SCHNEIDER W. R. und KOFFMAN D. M. (1967) A survey of the unequilibrated ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **31**, 921-952.
- DORRASZ G., SCHÄFER J. P. und DORRASZ J. D. H. (1959) Nephelin solid solution. *Mineral. Mag.* **32**, 93-109.
- DURECKE P. und SHIELDS P. K. (1964) Effect of critical excitation potential on the absorption correction in X-ray microanalysis. Tube Investments Research Laboratories Technical Rep. No. 181 (unveröffentlicht).
- FISH R. A., GOLES G. G. und ANDERS E. (1960) The record in the meteorites III. On the development of meteorites in asteroidal bodies. *Astrophys. J.* **132**, 243-258.
- FRAZER J. Z., FITZGERALD R. W. und REID A. M. (1966) Computer programs EMX and EMX2 for electron microprobe data processing. Unpublished report 66-14, Univ. of California.
- FREDRIKSSON K. (1963) Chondrules and the meteoritic parent bodies. *Trans. N.Y. Acad. Sci. Ser. 2* **25**, 756-769.
- FREDRIKSSON K. und REID A. M. (1965) A chondrule in the Chainpur meteorite. *Science* **149**, 856-860.
- FREDRIKSSON K. und RISOWOOD A. E. (1962) Origin of meteoritic chondrules. *Geochim. Cosmochim. Acta* **27**, 639-641.
- HINZ W. (1963) *Silikate*. VEB Verlag f. Bauwesen.
- JAROSEWICH G. (1966) Unpublizierte Analyse des Meteoriten von Mezö-Madaras.
- JOHNSTON W. D. (1964) Oxidation-reduction equilibria in iron-containing glass. *J. Amer. Ceram. Soc.* **47**, 198-201.
- KEIDEL W. (1965) Untersuchungen am Meteoriten von Borkut und anderen Chondriten über Form, Aufbau und Entstehung der Chondren. *Beitr. Min. Petr.* **11**, 487-506.
- KEIL K. und FREDRIKSSON K. (1964) The Fe, Mg and Ca distribution in coexisting olivines and rhombic pyroxenes in chondrites. *J. Geophys. Res.* **69**, 3487-3515.
- KNÖPFLER W. (1853) Bericht über den am 4. September d.J. bei Mezö-Madaras stattgefundenen Astolithenfall. *Verh. Siebenbürg. Ver. Naturwiss., Hermannstadt* **4**, 153-154.
- KURAT G. (1966) Unpublizierte Analysen.
- KURAT G. (1967) Zur Entstehung der Chondren. *Geochim. Cosmochim. Acta* **31**, 491-502.
- LARIMER J. (1967) Chemical fractionations in meteorites—I. Condensation of elements. *Geochim. Cosmochim. Acta* **31**, 1215-1238.
- LEWIN B. J. (1964) Origin of meteorites. *Nature* **204**, 946-947.
- MASON B. (1960) The origin of meteorites. *J. Geophys. Res.* **65**, 2965-2970.
- MERRIHEW C. M. (1963) Excess xenon -129 in chondrules from the Bruderheim meteorite. *J. Geophys. Res.* **68**, 325-330.
- MEUNIER M. S. (1871) Étude lithologique de la météorite de Parnallee. *C.R. Acad. Sci. Paris* **73**, 346-350.
- NAUGHTON J. J., BARNES I. L. und HAMMOND D. A. (1965) Rock degradation by alkali metals: A possible lunar erosion mechanism. *Science* **149**, 630-631.
- PHILIBERT J. (1965) L'analyse quantitative en micro-analyse par sonde électronique. IRSID Publ. Ser. B, No. 51.
- REID A. M. und FREDRIKSSON K. (1966) Chondrules and chondrites. Preprint.
- RINGWOOD A. E. (1961) Chemical and genetic relationships among meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **24**, 159-197.
- SCHMITT R. A., SMITH R. H. und GOLES G. G. (1965) Abundances of Na, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, and Cu in 218 individual meteoritic chondrules via activation analysis. I. *J. Geophys. Res.* **70**, 2419-2444.
- SMITH J. V. und TUTTLE O. F. (1957) The nepheline-kalsilite system I: X-ray data for the crystalline phases. *Amer. J. Sci.* **255**, 282-305.
- SORBY H. C. (1864) On the microscopic structure of meteorites. *Proc. Roy. Soc. London* **XIII**, 333.
- TILLEY C. E. (1952) Nepheline parageneses. *Sir Douglas Mawson Anniv. vol. Univ. of Adelaide*.
- TSCHERMACK G. (1883) *Die mikroskopische Beschaffenheit der Meteoriten erläutert durch photographische Abbildungen*. Schweizerbart, Stuttgart.
- UREY H. C. (1952) *The Planets*. Yale University Press.
- UREY H. C. und CRAIG H. (1953) The composition of the stone meteorites and the origin of the meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **4**, 36-82.
- VAN SCHNEIDER W. R. (1966) Polymict structure in the Mezö-Madaras chondrite. 29th Annual Meeting of the Met. Soc. Washington D.C.
- VAN SCHNEIDER W. R. und WOOD J. A. (1967) A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **31**, 747-765.
- WAHL W. (1952) The brecciated stony meteorites and meteorites containing foreign fragments. *Geochim. Cosmochim. Acta* **2**, 91-117.
- WALTER L. S. (1966) Experimental vapor fractionation of silicate melts. 29th Annual Meeting of the Meteoritical Society, November 1966; Washington D.C. (Zusammenfassung).
- WHIPPLE F. L. (1966) Chondrules: Suggestion concerning the origin. *Science* **153**, 54-55.
- WOOD J. A. (1963) On the origin chondrules and chondrites. *Icarus* **2**, 182-180.

+ (Act 70
Geological Museum

Einige Chondren aus dem Meteoriten von Mezö-Madaras