

## Al-reiche und intermediäre Chondren in dem H4-Chondriten Ybbsitz

Von A. BISCHOFF<sup>1)</sup>

(Mit 2 Abbildungen und 1 Tafel)

Manuskript eingelangt am 6. August 1984

### Zusammenfassung

Fünf polierte Anschliffe von dem Meteoriten Ybbsitz wurden polarisationsmikroskopisch untersucht. Mit Hilfe einer Elektronenstrahlmikrosonde wurden die chemischen Zusammensetzungen von 19 intermediären und 19 Al-reichen Chondren gemessen. Die Existenz von Al-reichen Chondren in Ybbsitz unterstützt die Auffassung, daß Al-reiche Objekte in allen gewöhnlichen Chondriten vorkommen. Chondren mit mittleren  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalten (intermediäre Chondren) beweisen, daß es zwischen den gewöhnlichen Mg-Fe-reichen und den Al-reichen Chondren kontinuierliche Übergänge gibt. Al-reiche Chondren stellen keine abgegrenzte Chondrenpopulation dar. Wie die Mg-Fe-reichen Chondren sind die Al-reichen Chondren durch die Aufschmelzung von festen Ausgangsmaterialien entstanden. Eine Metamorphose hat den primitiven Charakter und die ursprüngliche Chemie dieser Chondren stark verändert. Während die überwiegende Anzahl der Al-reichen Chondren in Typ 3 Chondriten entweder  $\text{Na}_2\text{O}$ - oder CaO-reich ist, weisen nahezu alle Al-reichen Chondren in Ybbsitz mittlere  $\text{Na}_2\text{O}$ - und CaO-Konzentrationen auf. Die Existenz von Al-reichen Objekten in nahezu allen gewöhnlichen, kohligen und Enstatit-Chondriten beweist, daß einige Komponenten aller chondritischen Meteoritenklassen ähnlichen Ursprungs sind.

### Abstract

Five polished handspecimens were studied by optical microscopy in reflected light. Bulk compositions of 19 intermediate and 19 Al-rich chondrules were determined with an electron microprobe. The existence of Al-rich chondrules in Ybbsitz provides additional evidence for the suggestion that Al-rich objects occur in all ordinary chondrites. Chondrules with intermediate composition demonstrate that chondrules exist which are transitional in composition between the Al-rich and Mg-Fe-rich types. A compositional gap between the Al-rich chondrules and the main Mg-Fe-rich chondrule population does not exist. Al-rich chondrules formed by melting of refractory precursor materials and crystallized as independent molten droplets. However, metamorphism has changed the original composition of the chondrules. Al-rich chondrules from type 3 ordinary chondrites are either  $\text{Na}_2\text{O}$ - or CaO-rich, yet, all Al-rich chondrules in Ybbsitz contain medium contents of  $\text{Na}_2\text{O}$  and CaO. The occurrence of Al-rich objects in ordinary, carbonaceous and enstatite chondrites provides strong evidence for a similar origin of these meteorites and certain of their constituents.

<sup>1)</sup> Anschrift des Verfassers: Dr. A. BISCHOFF, Institut für Mineralogie, Corrensstr. 24, D-4400 Münster - BRD.

## Einleitung

Ca-Al-reiche Chondren und Einschlüsse (CAIs) sind recht häufige Bestandteile der kohligen Chondrite (McSween 1977; WARK & LOVERING 1978; GROSSMAN 1980; KORNACKI & WOOD 1984).

Bis vor wenigen Jahren bestand die Meinung, daß Ca-Al-reiche Objekte auf kohlige Chondrite beschränkt seien. McSWEEN (1977) argumentierte, daß jede Klasse von Chondriten ihre eigene, bestimmte Chondrenpopulation habe und DODD (1981) fügte hinzu, kohlige und gewöhnliche Chondrite seien sehr unterschiedliche Gesteine und ihre Chondren seien unterschiedlichen Ursprungs. Diese Argumentationsweise basiert auf der Tatsache, daß keine intensiven Untersuchungen über Al-reiche Objekte in gewöhnlichen Chondriten vorlagen. Einige Kurzberichte über zufällige Entdeckungen solcher Objekte in gewöhnlichen Chondriten (NOONAN 1975; FUDALI & NOONAN 1975; NOONAN & NELEN 1976; NOONAN & al. 1978; NAGAHARA & KUSHIRO 1982; WLOTZKA 1982) fanden aufgrund der Erforschung der grobkörnigen CAIs in kohligen Chondriten nur wenig Beachtung.

Intensive Untersuchungen von BISCHOFF & KEIL (1983a, b, c, 1984) haben gezeigt, daß Al-reiche Objekte ( $\text{Al}_2\text{O}_3 > 10,0$  Gew.%) in nahezu allen gewöhnlichen Chondriten zu finden sind. Nicht nur Al-reiche Chondren, sondern auch unregelmäßig begrenzte Einschlüsse, die den spinellreichen, komplexen CAIs (KORNACKI & WOOD 1984) sehr ähnlich sind, wurden beobachtet.

Die Untersuchungen an dem H4-Chondriten Ybbsitz wurden unternommen, (1) um Al-reiche Chondren auch in diesem Meteoriten nachzuweisen und (2) um aufzuzeigen, daß es zwischen den häufigen Mg-Fe-reichen Chondren und den Al-reichen Chondren chemische Übergänge gibt.

## Probenmaterial und Untersuchungsmethoden

Von dem Meteoriten Ybbsitz wurden zwei polierte Dünnschliffe und fünf polierte Anschliffe von ca. 1 mm Dicke hergestellt. Die Gesamtoberfläche des untersuchten Materials betrug etwa 9 cm<sup>2</sup>. Die Dünn- und Anschliffe wurden polarisationsmikroskopisch untersucht und geeignete Chondren für die weitere Untersuchung ausgewählt.

Die chemischen Analysen wurden mit der ARL-SEMQ-51 Mikrosonde des Instituts für Metallforschung der Universität Münster durchgeführt. Gesamtanalysen wurden mit einem defokussierten Elektronenstrahl (30–60 µm im Durchmesser) ermittelt. Gesamt- und Mineralanalysen wurden nach der Methode von BENCE & ALBEE (1968) korrigiert.

## Ergebnisse

Mg-Fe-reiche Chondren in gewöhnlichen Chondriten sind in den letzten 20 Jahren sehr intensiv untersucht worden (u. a. KURAT 1967, WASSON 1974, McSWEEN 1977, GOODING 1979, LUX & al. 1980, DODD 1981, RAMBALDI 1981, GROSSMAN & WASSON 1981, 1982, 1983; SCOTT & al. 1982, WLOTZKA 1982, HEWINS 1983). Diese Chondren verfügen über geringe CaO- und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte ( $\text{Al}_2\text{O}_3 < 4$

Gew. %); Pyroxen und Olivin sind die dominierenden Phasen. Diese Mg-Fe-reichen Chondren sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Objekte der vorliegenden Arbeit sind Chondren, die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte von  $\geq 4$  Gew. % aufweisen. Al-reiche und intermediäre Chondren sind runde Objekte und zeigen eindeutig ein magmatisches Gefüge. Einige Fragmente lassen sich aufgrund eines noch teilweise vorhandenen Chondren-Randes als Bruchstücke ehemaliger Chondren betrachten und werden in den jeweiligen Chondren-Gruppen mitdiskutiert.

Mit zunehmendem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt und mit unterschiedlichen  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnissen ändern sich auch die Kristallisationsgefüge und die Mineralparagenesen der Chondren.

Mit der Zunahme des  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalts gehen Mg-Fe-reiche Chondren kontinuierlich in die Gruppe der intermediären Chondren über ( $\text{Al}_2\text{O}_3 > 4,0 < 10,0$  Gew. %). Al-reiche Chondren weisen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte von  $> 10,0$  Gew. % in ihren Gesamtzusammensetzungen auf. Bei der Einteilung der Chondren in Unterklassen handelt es sich um eine willkürliche Festlegung.

Im Chondriten von Ybbsitz wurden 19 Al-reiche Chondren und 19 Chondren mit intermediärer Zusammensetzung analysiert. Die Durchmesser der untersuchten Chondren betragen zwischen 60 und ungefähr 800  $\mu\text{m}$ .

## Intermediäre Chondren

Intermediäre Chondren in gewöhnlichen Chondriten sind zahlreicher als Al-reiche Chondren.

Während die Al-reichen Chondren aufgrund ihrer Gesamtzusammensetzung größtenteils andere Gefüge als die wesentlich häufigeren Mg-Fe-reichen Chondren aufweisen, so nehmen die intermediären Chondren eine gewisse Zwischenstellung ein. In den meisten Fällen sind sie den Mg-Fe-reichen Chondren sehr ähnlich. Dies gilt insbesondere für Balkenolivinchondren. Sehr viele intermediäre Chondren in Ybbsitz sind Balkenolivinchondren. Bei den Mg-Fe-reichen Balkenolivinchondren ist der Mesostasisanteil sehr gering (schätzungsweise  $< 30$  Vol. %). Mit der volumenmäßigen Zunahme der Mesostasis werden diese Chondren Al-reicher. Bei einem Anteil von 30–50 Vol. % betragen die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte etwa zwischen 4 und 10 Gew. %, da die Mesostasis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte von etwa 15–20 Gew. % besitzt. Balkenolivinchondren können jedoch auch Al-reich sein; in diesen Fällen weisen die Chondren einen Mesostasisanteil bis zu 70 oder 80 Vol. % auf.

Einige Chondren wurden analysiert, die eindeutig porphyritische Olivinchondren waren. Idiomorphe Olivinkristalle sind in einer Al-reichen Mesostasis eingebettet. Auch bei diesen Chondren ist der Mesostasisanteil deutlich höher als bei den Mg-Fe-reichen Chondren.

In Ybbsitz treten auch sehr feinkörnige intermediäre Chondren auf. Eine exakte Identifizierung der Mineralphasen ist auf Grund der geringen Korngröße ( $< 5 \mu\text{m}$ ) oftmals nicht möglich. Sie scheinen aus einer feinkörnigen Verwachsung von Olivin und Plagioklas (?) zu bestehen. Taf. 1, Fig. 1 zeigt eine feinkörnige intermediäre Chondre.

Die Mineralparagenesen der intermediären Chondren unterscheiden sich kaum von denen der Mg-Fe-reichen Chondren. Hauptsächlich liegen Olivin und Pyroxen vor. Spinelle sind äußerst selten; sie konnten in der Mesostasis einiger Chondren als kleine idiomorphe Kristalle ( $< 2 \mu\text{m}$ ) identifiziert werden. Troilit und/oder Fe,Ni-Körner sind häufiger als in den Al-reichen Chondren. Fassait wurde in den grobkörnigeren Chondren nicht gefunden. Es ist jedoch durchaus denkbar, daß Fassaitkristalle, ähnlich wie bei Ca-Al-reichen Chondren (BISCHOFF & KEIL 1984) in der rekristallisierten Mesostasis existieren.

### Al-reiche Chondren

Die Gefüge und Mineralparagenesen der Al-reichen Chondren sind u. a. aufgrund unterschiedlicher  $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ -Verhältnisse sehr verschieden. Der  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt scheint die Kristallinität der Gesamtchondren, vor allem jedoch der Mesostasis, zu beeinflussen. Je höher die  $\text{Na}_2\text{O}$ -Konzentration ist, desto feinkörniger sind in der Regel die Gefüge dieser Chondren (BISCHOFF & KEIL 1984). Wie in anderen Chondriten sind viele Al-reiche Chondren in Ybbsitz den Balkenolivinchondren sehr ähnlich. Olivinleisten sind in einer Al-reichen Mesostasis eingebettet, die in den meisten Fällen 50–70 Vol.% ausmacht.

Neben den Balkenolivinchondren sind Chondren mit äußerst feinkörnigem Gefüge sehr häufig. Diese Chondren bestehen in erster Linie aus einer Verwachsung von Olivin, Plagioklas und Fassait. Weitere, z. T. recht exotische Gefüge von Al-reichen Chondren wurden beobachtet. In einem Fall bestand eine Chondre aus Skelettkristallen von Olivin, die vollständig von Mesostasismaterial umgeben waren. Zusätzlich war ein großer idiomorpher chromreicher Spinell (ca.  $150 \mu\text{m}$  im Durchmesser) am Chondrenrand kristallisiert. Ähnliche Beobachtungen werden von BISCHOFF & KEIL (1983a, c) beschrieben.

Eine andere Chondre ist ausgesprochen spinellreich (Taf. 1, Fig. 2). Die Spinelle liegen nicht als idiomorphe Kristalle am Chondrenrand, sondern als

Tabelle 1. Einige ausgewählte Mineral- und Mesostasis-Analysen der spinellreichen Chondre (Nr. 14, Tab. 2). 1–3: Kerne der Spinelle; 4–5: Spinellränder; 6: Olivin; 7–9: Mesostasis, mit einem Elektronenstrahl von etwa  $20 \mu\text{m}$  Durchmesser gemessen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\text{SiO}_2$	0,26	–	–	–	–	38,5	53,6	54,8	49,6
$\text{TiO}_2$	0,16	0,15	0,09	0,10	0,13	0,15	0,73	0,67	0,41
$\text{Al}_2\text{O}_3$	59,7	62,9	62,9	57,1	57,2	0,09	25,6	22,4	25,0
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	7,0	5,8	7,0	11,1	10,2	0,10	0,11	0,38	0,25
$\text{FeO}$	14,5	13,8	14,0	14,9	14,9	16,9	2,00	4,0	7,6
$\text{MnO}$	0,22	0,21	0,25	0,26	0,24	0,38	0,06	$<0,05$	$<0,04$
$\text{MgO}$	16,8	16,9	16,9	16,0	16,1	42,0	0,08	2,47	0,16
$\text{CaO}$	–	–	–	–	–	–	8,4	5,9	8,1
$\text{Na}_2\text{O}$	–	–	–	–	–	–	6,1	6,5	5,1
$\text{K}_2\text{O}$	–	–	–	–	–	–	0,13	0,15	0,08
Summe	98,64	99,76	101,14	99,46	98,77	98,12	96,81	97,32	96,34

idiomorphe bis hypidiomorphe Körner im zentralen Bereich dieser Chondre vor. Diese Spinelle sind zoniert; ihre Kerne sind deutlich  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - (ca. 5,8 Gew.%) und FeO-ärmer (ca. 13,8 Gew.%) als ihre Randbereiche ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : ca. 11,0 Gew.%; FeO: ca. 14,9 Gew.%). Der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Anteil verhält sich gegenläufig. Neben den Spinellen sind nur noch einige Olivine (Fa  $\sim$  18,4 Mol.%) in einer sehr Na-, Ca- und Al-reichen Mesostasis eingebettet. Einige charakteristische Mineral- und Mesostasisanalysen dieser Chondre sind in Tab. 1 aufgelistet. Fe, Ni- und/oder FeS-Körner kommen in Al-reichen Chondren nicht so häufig wie in den Mg-Fe-reichen oder den intermediären Chondren vor. Sie sind fast immer sehr klein ( $< 10 \mu\text{m}$ ).

### Gesamtzusammensetzungen der intermediären und Al-reichen Chondren

Die Gesamtzusammensetzungen aller Chondren sind in Tab. 2 aufgelistet. Al-reiche Chondren, die extrem CaO- oder  $\text{Na}_2\text{O}$ -arm sind (BISCHOFF & KEIL 1983c, 1984), existieren in Ybbsitz nicht. Auffallend ist der hohe  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt nahezu aller analysierten Chondren. Ebenso sind die  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - und FeO-Gehalte verglichen mit denen Al-reicher Chondren in anderen Chondriten ausgesprochen hoch. Abb. 1 zeigt, daß die meisten Gesamtzusammensetzungen bezüglich ihrer CaO- und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Variation deutlich unterhalb des kosmischen Ca/Al-Verhältnisses von

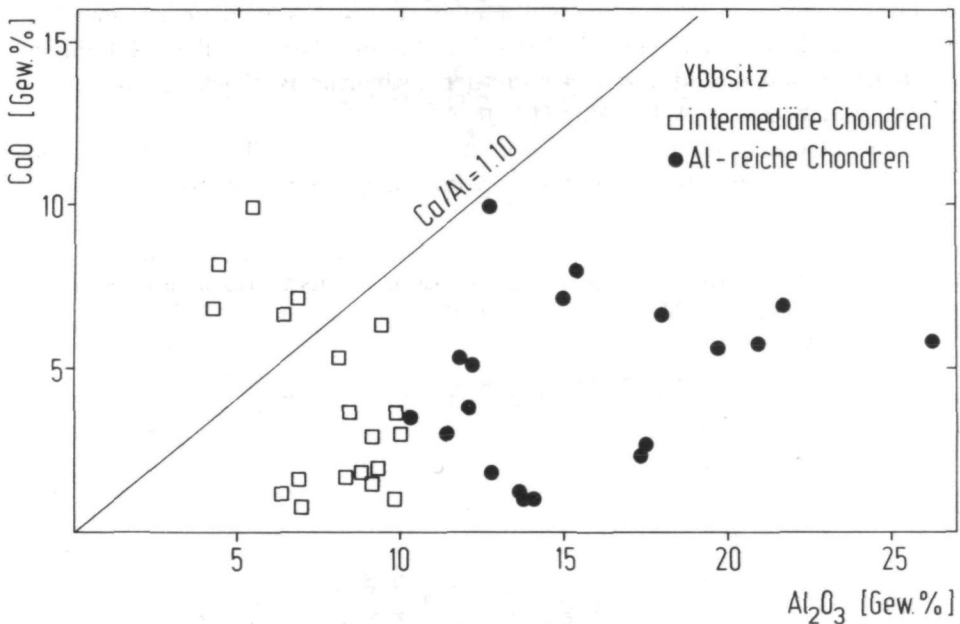


Abb. 1. CaO- $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Variation von Al-reichen und intermediären Chondren des Ybbsitz H4-Chondriten. Die meisten Gesamtzusammensetzungen liegen deutlich unterhalb des kosmischen Ca/Al-Verhältnisses von 1,10 (AHRENS & VON MICHAELIS 1969).

Tabelle 2. Gesamtzusammensetzungen der Al-reichen und intermediären Chondren in Ybbsitz. Alle Daten in Gew. %.

Nr.	Meteorit	Typ	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Summe
Al-reiche Chondren in Ybbsitz													
1	Ybbsitz	H4	44,0	0,61	18,0	3,1	11,0	0,15	9,5	6,6	3,7	0,18	96,84
2	Ybbsitz	H4	54,2	0,43	12,7	0,75	7,8	0,11	7,4	9,9	4,9	0,24	98,43
3	Ybbsitz	H4	49,2	0,38	11,8	0,66	9,2	0,13	17,3	5,3	3,2	0,12	97,29
4	Ybbsitz	H4	49,1	0,83	21,0	1,95	8,6	0,10	6,3	5,7	4,9	0,14	98,62
5	Ybbsitz	H4	50,3	0,42	15,4	0,38	8,1	<0,06	7,9	8,0	4,0	0,21	94,77
6	Ybbsitz	H4	46,5	0,85	21,7	1,13	7,3	<0,06	10,9	6,9	3,9	0,10	99,34
7	Ybbsitz	H4	53,3	0,26	11,4	1,56	8,6	0,24	18,5	3,0	4,9	0,29	102,05
8	Ybbsitz	H4	51,4	0,39	15,0	0,43	10,4	0,14	8,8	7,1	4,1	0,17	97,93
9	Ybbsitz	H4	50,5	0,48	12,2	0,90	11,7	0,19	15,0	5,1	3,1	0,13	99,30
10	Ybbsitz	H4	59,0	0,20	10,3	0,12	6,8	0,24	16,6	3,5	4,8	0,30	101,86
11	Ybbsitz	H4	56,6	0,66	17,5	-	8,3	-	1,56	2,66	8,1	1,30	96,68
12	Ybbsitz	H4	50,2	1,31	19,7	1,19	6,9	<0,07	9,1	5,6	5,1	0,14	99,31
13	Ybbsitz	H4	46,3	1,03	26,3	1,12	7,0	<0,07	4,4	5,8	5,1	0,19	97,31
14	Ybbsitz	H4	56,6	0,55	17,3	<0,04	9,8	<0,03	1,70	2,40	7,6	1,23	97,25
15	Ybbsitz	H4	50,0	0,46	12,8	1,17	11,0	0,18	18,5	1,85	4,7	0,26	100,92
16	Ybbsitz	H4	49,0	0,31	13,6	0,17	14,5	0,14	12,4	1,17	5,2	0,36	96,85
17	Ybbsitz	H4	48,0	0,20	14,0	-	14,4	0,16	10,5	1,02	5,3	0,45	94,03
18	Ybbsitz	H4	54,7	0,23	13,9	0,18	8,3	0,16	14,4	1,04	6,0	0,77	99,68
19	Ybbsitz	H4	53,1	0,40	12,1	1,19	8,9	0,25	16,0	3,8	5,1	0,35	101,19

## Intermediäre Chondren in Ybbsitz

20	Ybbsitz	H4	53,7	0,25	6,8	0,50	9,0	0,35	22,3	1,59	1,85	0,09	96,43
21	Ybbsitz	H4	47,6	0,09	4,2	0,25	11,9	0,34	24,6	6,8	1,78	0,18	97,74
22	Ybbsitz	H4	49,0	0,10	6,8	0,26	9,2	0,17	22,8	7,1	3,0	0,23	98,66
23	Ybbsitz	H4	52,0	0,26	6,3	0,39	13,4	0,26	20,4	1,22	2,25	0,21	96,69
24	Ybbsitz	H4	43,5	0,19	6,9	0,30	16,0	0,32	29,1	0,77	2,35	0,12	99,55
25	Ybbsitz	H4	48,5	0,16	4,4	0,36	9,9	0,27	23,8	8,2	2,02	0,24	98,04
26	Ybbsitz	H4	46,8	0,10	8,1	0,16	15,3	0,23	19,3	5,3	2,82	0,20	98,31
27	Ybbsitz	H4	55,2	0,18	5,5	0,41	6,7	0,23	17,5	9,9	2,43	0,52	98,57
28	Ybbsitz	H4	50,1	0,19	6,4	0,33	10,0	0,30	23,6	6,7	2,70	0,22	100,54
29	Ybbsitz	H4	55,2	0,21	8,4	0,99	8,6	0,26	19,2	3,6	3,7	0,26	100,42
30	Ybbsitz	H4	49,5	0,16	8,8	0,50	10,8	0,27	21,4	1,92	3,6	0,25	97,20
31	Ybbsitz	H4	50,3	0,16	9,9	0,17	7,7	0,21	19,2	3,6	4,7	0,36	96,30
32	Ybbsitz	H4	47,9	0,12	9,3	0,53	12,8	0,24	22,5	1,85	3,2	0,19	98,63
33	Ybbsitz	H4	46,7	-	9,1	-	13,5	0,12	22,6	1,56	3,7	0,42	97,70
34	Ybbsitz	H4	50,8	-	9,98	-	9,1	0,08	20,7	3,0	4,8	0,39	98,85
35	Ybbsitz	H4	45,2	0,10	8,3	0,12	13,7	0,21	24,4	1,65	3,1	0,14	97,02
36	Ybbsitz	H4	48,5	0,10	9,1	0,52	11,1	0,22	19,6	2,93	3,8	0,28	96,15
37	Ybbsitz	H4	46,4	0,12	9,8	0,26	16,1	0,24	21,1	1,02	3,6	0,30	98,94
38	Ybbsitz	H4	55,7	0,31	9,4	0,64	6,3	0,09	14,4	6,3	4,2	0,32	97,66

1,10 (AHRENS & von MICHAELIS 1969) liegen. Dies ist ebenfalls von Al-reichen Chondren in anderen Chondriten bekannt (BISCHOFF & KEIL 1984). Es bleibt ungeklärt, warum einige Chondren über ein Ca/Al-Verhältnis verfügen, das deutlich über dem kosmischen Verhältnis liegt. Die  $\text{TiO}_2$ -Konzentration steigt mit zunehmendem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt kontinuierlich an. WLOTZKA (1982) analysierte einige Ca-Al-reiche Chondren in Tieschitz und argumentierte, daß diese Chondren zu einer von der Hauptpopulation abweichenden Population gehören würden. Abb. 1 demonstriert, daß zwischen den Al-reichen und Mg-Fe-reichen Chondren ein kontinuierlicher Übergang besteht. Dies bestätigt sich auch bei Untersuchungen anderer Chondrite (BISCHOFF 1984a).

### Diskussion

Intermediäre und Al-reiche Chondren kristallisierten eindeutig aus isolierten Schmelztröpfchen. Die Existenz von skelettförmigen Kristallen und/oder von sehr feinkörnigen Gefügen deuten auf eine rasche Abkühlung dieser Chondren hin. Die beobachteten Spinelle scheinen die zuerst ausgeschiedenen Phasen zu sein; sie sind nahezu immer idiomorph. Nach der Kristallisation von Olivin blieb wahrscheinlich eine glasige Mesostasis zurück, die infolge einer späteren thermischen Metamorphose sehr feinkörnig rekristallisierte.

Der hohe  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt der meisten analysierten Chondren in Ybbsitz ist wahrscheinlich ein Effekt der Metamorphose. Während die überwiegende Anzahl der Al-reichen Chondren in Typ 3 Chondriten entweder  $\text{Na}_2\text{O}$ - oder CaO-reich ist, weisen nahezu alle Al-reichen Chondren in Ybbsitz mittlere  $\text{Na}_2\text{O}$ - und CaO-Konzentrationen auf. Abb. 2 verdeutlicht diesen Befund. Al-reiche Chondren anderer Chondrite vom Typ 4 zeigen ebenfalls dieses Verhalten; sie liegen im mittleren Bereich des CaO -  $\text{Na}_2\text{O}$ -Diagramms (BISCHOFF 1984b). Während der Metamorphose scheinen sich CaO und  $\text{Na}_2\text{O}$  ausgetauscht zu haben. Dabei muß  $\text{Na}_2\text{O}$  aus der Matrix oder aus Na-reicheren Chondren in primäre Ca-reichere Chondren eindiffundiert sein, um bei der Rekristallisation der glasigen Mesostasis einen equilibrierten Plagioklas, d. h. Oligoklas, bilden zu können. In einem Typ 4-Fragment in ALHA77299 weist eine Ca-Al-reiche Chondre, die hauptsächlich aus Anorthit, Fassait und Spinell aufgebaut ist,  $\text{Na}_2\text{O}$ -reiche Plagioklase in der rekristallisierten Mesostasis auf (BISCHOFF 1984b; BISCHOFF & KEIL 1984).

Der recht hohe FeO-Gehalt der Chondren dürfte auf den Fa-Gehalt der Olivine zurückzuführen sein. In Al-reichen Chondren von Typ 3 Chondriten liegen sehr häufig FeO-arme Olivine vor (BISCHOFF & KEIL 1984), in H4-Chondriten dagegen weisen Olivine wesentlich höhere Fa-Gehalte auf ( $\sim 18$  Mol. %).

Diese Studie demonstriert, daß Al-reiche Chondren auch in Ybbsitz existieren und unterstützt die Auffassung, daß Al-reiche Objekte in allen gewöhnlichen Chondriten vorkommen (BISCHOFF & KEIL 1984). Sie sind denen in anderen Chondriten vom Typ 4 sehr ähnlich.

Eine Metamorphose hat den primitiven Charakter und die ursprüngliche Chemie dieser Chondren jedoch stark verändert.



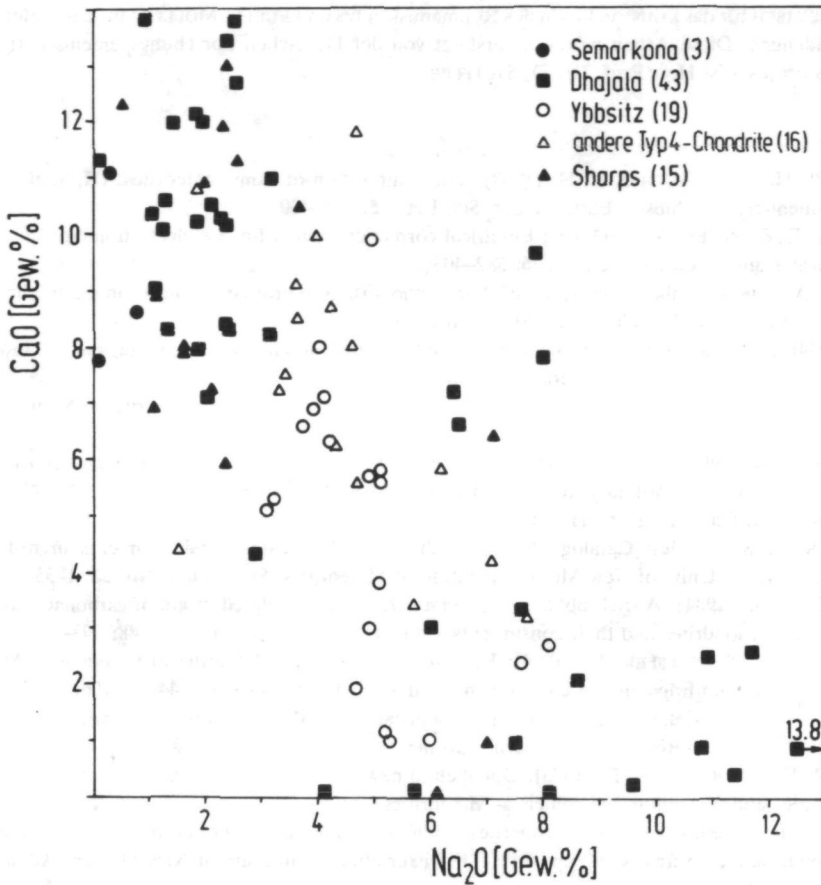


Abb. 2. CaO-Na<sub>2</sub>O-Variation von Al-reichen Chondren in Typ 3 und Typ 4 Chondriten. Chondren aus Typ 3 Chondriten sind durch ausgefüllte und Chondren aus Typ 4 Chondriten durch offene Symbole dargestellt. Bis auf sehr wenige Ausnahmen weisen Chondren aus Chondriten vom Typ 4 mittlere CaO- und Na<sub>2</sub>O-Gehalte auf, während die überwiegende Anzahl der Al-reichen Chondren von Typ 3 Chondriten entweder Na<sub>2</sub>O- oder CaO-reich ist. Die Anzahl der untersuchten Chondren ist in Klammern angegeben.

Al-reiche Chondren stellen keine abgegrenzte Population dar; es gibt einen kontinuierlichen Übergang in der chemischen Gesamtzusammensetzung von den Mg-Fe-reichen, über die Chondren mit intermediärer Zusammensetzung zu den Al-reichen Chondren. Dieser Befund weist darauf hin, daß alle Chondren durch einen sehr ähnlichen Prozeß entstanden sind.

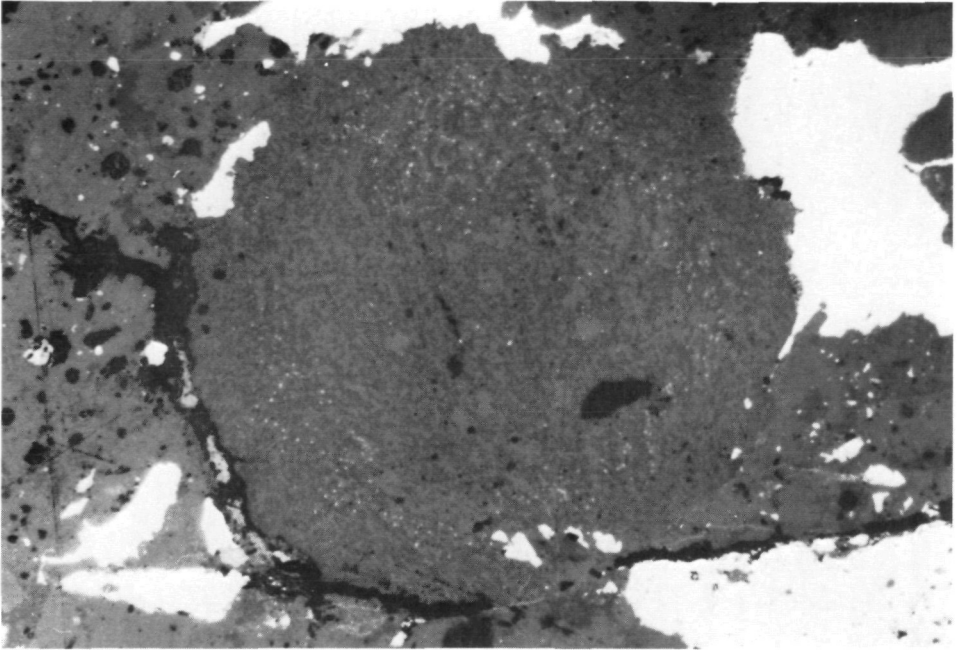
Die Existenz von nahezu identischen Chondren mit ähnlichen Mineralparagenesen, Gesamtzusammensetzungen und Gefügen in kohligen Chondriten (BISCHOFF 1984b) und Enstatit-Chondriten (BISCHOFF & al. 1984) verdeutlicht, daß die Komponenten in kohligen und gewöhnlichen Chondriten und in Enstatit-Chondriten auf ähnliche Weise gebildet worden sind.

Anerkennungen: Ich bedanke mich bei Herrn Dr. G. KURAT (Naturhistorisches Museum, Wien) für das zur Verfügungstellen von Ybbsitz-Proben. Mein aufrichtiger Dank gilt auch Herrn

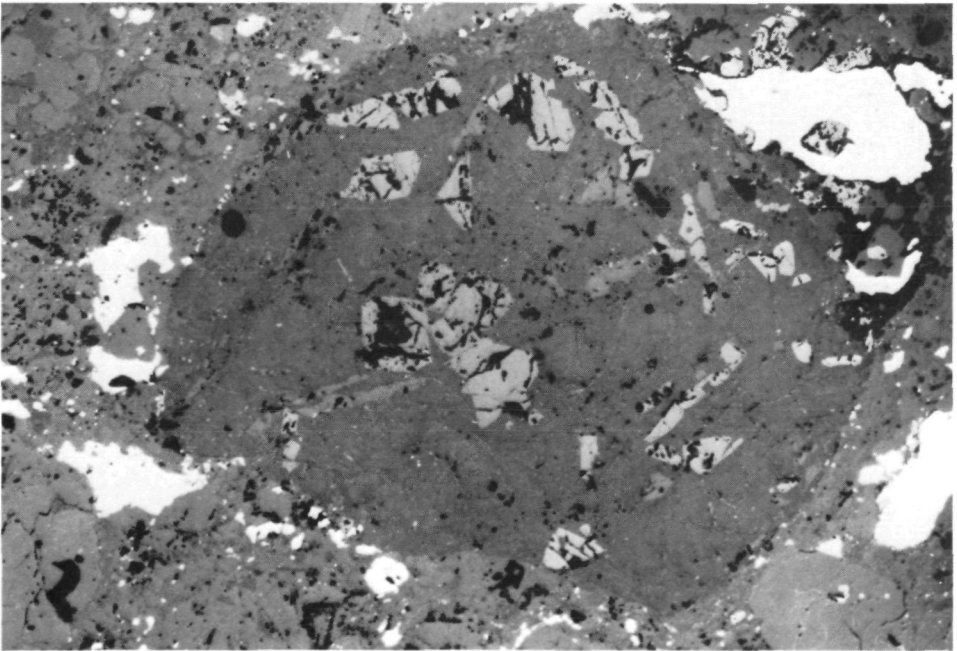
Dr. A. DEUTSCH für das kritische Lesen des Rohmanuskriptes und Frau F. MÖLLERS für das Anfertigen der Abbildungen. Diese Arbeit wurde unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Der Leiter des Projekts ist Herr Prof. Dr. D. STÖFFLER.

#### Literatur

- AHRENS, L. H. & VON MICHAELIS, H. (1969): The composition of stony meteorites, III, Some inter-element relationships. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **5**: 395–400.
- BENCE, A. E. & ALBEE, A. L. (1968): Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. – *J. Geol.*, **76**: 382–403.
- BISCHOFF, A. (1984a): Bulk compositions of Al-rich chondrules in ordinary and carbonaceous chondrites: variations and similarities. – *Meteoritics*, **19**: 191–192.
- (1984b): Refraktäre und intermediäre Chondren und Einschlüsse in Chondriten. – 146pp. – Dissertation, Institut für Mineralogie, Universität Münster.
- & KEIL, K. (1983a): Ca-Al-rich chondrules and inclusions in ordinary chondrites. – *Nature*, **505**: 488–592.
- & KEIL, K. (1983b): Ca-Al-rich chondrules and inclusions in ordinary chondrites: Evidence for a related genesis of ordinary and carbonaceous chondrites. – *Lunar Planet. Sci.*, **14**: 47–48. – Lunar and Planetary Inst., Houston.
- & KEIL, K. (1983c): Catalog of Al-rich chondrules, inclusions and fragments in ordinary chondrites. – Univ. of New Mexico, Institute of Meteoritics, Spec. Publ. No. **22**: 1–33.
- & KEIL, K. (1984): Al-rich objects in ordinary chondrites: Related origin of carbonaceous and ordinary chondrites and their constituents. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**: 693–709.
- , KEIL, K. & STÖFFLER, D. (1984): Perovskite-hibonite-spinel-bearing inclusions and Al-rich chondrules and fragments in enstatite chondrites. – *Chemie der Erde*, **44**: 97–106.
- DODD, R. T. (1981): Meteorites, A Petrologic-Chemical Synthesis. – 368 pp. – Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney (Cambridge Univ.-Press).
- FUDALI, R. F. & NOONAN, A. F. (1975): Gobabeb, a new chondrite: The coexistence of equilibrated silicates and unequilibrated spinels. – *Meteoritics*, **10**: 31–41.
- GOODING, J. L. (1979): Petrogenetic properties of chondrules in unequilibrated H-, L-, and LL-group chondritic meteorites. – 392 pp. – Ph. D. Dissertation, University of New Mexico, Albuquerque, N. M.
- GROSSMAN, J. N. & WASSON, J. T. (1981): The refractory components in Semarkona chondrules and the fractionation of refractory elements during the formation of ordinary chondrites. – *Meteoritics*, **16**: 321–322.
- , — (1982): Evidence for primitive nebular components in chondrules from the Chainpur chondrite. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**: 1081–1099.
- , — (1983): Refractory precursor components of Semarkona chondrules and the fractionation of refractory elements among chondrites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 759–771.
- GROSSMAN, L. (1980): Refractory inclusions in the Allende meteorite. – *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **8**: 559–608.
- HEWINS, R. H. (1983): Dynamic crystallization experiments as constraints on chondrule genesis. – 122–133. – In: KING, E. A. (Ed.): „Chondrules and their Origin“. – Houston, Tx. (Lunar and Planetary Institute).
- KORNACKI, A. S. & WOOD, J. A. (1984): Petrography and classification of Ca, Al-rich and olivine-rich inclusions in the Allende CV3 chondrite. – *Proc. Lunar Planet. Sci., Part 2, J. Geophy. Res.*, **89**: B573–B587.
- KURAT, G. (1967): Zur Entstehung der Chondren. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**: 491–502.
- LUX, G., KEIL, K. & TAYLOR, G. J. (1980): Metamorphism of the H-group chondrites: Implications from compositional and textural trends in chondrules. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**: 841–855.
- MC SWEEN, H. Y. Jr. (1977): Chemical and petrographic constraints on the origin of chondrules and inclusions in carbonaceous chondrites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **41**: 1843–1860.



1



2



- NAGAHARA, H. & KUSHIRO, I. (1982): Calcium-aluminium-rich chondrules in the unequilibrated ordinary chondrites. – *Meteoritics*, **17**: 55–63.
- NOONAN, A. F. (1975): The Clovis (No. 1), New Mexico, meteorite and Ca, Al- and Ti-rich inclusions in ordinary chondrites. – *Meteoritics*, **10**: 51–61.
- & NELEN, J. A. (1976): A petrographic and mineral chemistry study of the Weston, Connecticut, chondrite. – *Meteoritics*, **11**: 111–131.
- , NELEN, J. A. & FREDRIKSSON, K. (1978): Ca-Al-Na-rich inclusions and aggregates in H-group and carbonaceous chondrites. – *Meteoritics*, **13**: 583–587.
- RAMBALDI, E. R. (1981): Relict grains in chondrules. – *Nature*, **293**: 558–561.
- SCOTT, E. R. D., TAYLOR, G. J. & KEIL, K. (1982): Origins of ordinary and carbonaceous type 3 chondrites and their components. – *Lunar Planet. Sci.*, **13**: 704–705. – Houston (Lunar and Planetary Inst.).
- WARK, D. A., LOVERING, J. F. (1978): Classification of Allende coarse-grained Ca-Al-rich inclusions (abstract). – *Lunar Planet. Sci.* **9**: 1211–1213. – Houston (Lunar and Planetary Inst.).
- WASSON, J. T. (1974): *Meteorites: Classification and Properties*. – New York (Springer-Verlag).
- WLOTZKA, F. (1982): Compositions of chondrules, fragments and matrix in Tieschitz. – In: *Conf. on Chondrules and their Origins, Contrib.* **493**: 61. – Houston (Lunar and Planetary Inst.).

### Tafelerklärungen

#### Tafel 1

Fig. 1. Feinkörnige, intermediäre Chondre (Nr. 29, Tab. 2) aus dem H4-Chondriten von Ybbsitz. Der Durchmesser der Chondre beträgt etwa 300  $\mu\text{m}$ . Fe,Ni- und FeS-Körner (helle Phasen) sind innerhalb der Chondre sehr fein verteilt. Einige größere Olivine und/oder Pyroxene (hellgrau) sind in einer dunkelgrauen Mesostasis eingebettet. (Auflicht).

Fig. 2. Spinellreiche Chondre (Nr. 14, Tab. 2) aus dem H4-Chondriten von Ybbsitz. Idiomorphe bis hypidiomorphe Spinelle (hellgrau) und einige Olivinleisten (grau) sind in einer Ca-Na-Al-reichen Mesostasis (dunkelgrau) eingebettet. Der Durchmesser der Chondre beträgt 800  $\mu\text{m}$ . (Auflicht).