

Chemische Untersuchungen am Ybbsitz-Meteorit*)

Von W. KIESL & F. KLUGER¹⁾

(Mit 1 Abbildung)

Manuskript eingelangt am 17. Mai 1985

Zusammenfassung

Es wurde eine chemische Analyse des H-Chondriten Ybbsitz vorgenommen. Dabei wurde erstmals eine Berechnungsmethode für die nichtmagnetische Fraktion bzw. die metallische Phase angewandt, die es erlaubt, aus den Analysen der verunreinigten Anteile den Gehalt der einzelnen Komponenten in den entsprechenden Phasen zu berechnen.

Aus den Resultaten konnten einige bemerkenswerte Abweichungen von der mittleren Zusammensetzung der H-Chondrite festgestellt werden. CaO- und Na₂O-Gehalte liegen deutlich unter den Mittelwerten für H-Chondrite, die Abweichung für K₂O dagegen ist nicht so ausgebildet. Besonders auffällig ist das von der Seltenerdelementnorm abweichende Verteilungsmuster der leichten Seltenerdelemente.

Summary

A chemical analysis of the H-group chondrite Ybbsitz was performed. We applied for the first time a calculation method which enables us to calculate the concentration of individual components in the nonmagnetic fraction as well as the pure metal phase, even if the separation of the both phases is incomplete.

From the results obtained some remarkable deviations from the mean chemical composition of the H-group chondrites are visible. CaO- as well as Na₂O-contents are well below the mean values of H-chondrites, whereas the deviation in the case of K₂O-contents is not clearly pronounced.

Moreover, the deviation of the light rare earth elements from the chondritic norm is worthy of note.

Einleitung

Der Meteorit wurde von W. SCHNABEL (Geolog. Bundesanstalt, Wien) im Jahre 1977 bei Feldarbeiten in der Nähe von Ybbsitz in Niederösterreich aufgefunden (SCHNABEL 1985). Dabei wurde vorerst nur ein Handstück zur Untersuchung abgeschlagen, da der Stein nicht unmittelbar als Meteorit zu erkennen war. Erst bei den petrographischen Untersuchungen wurde der Stein als Meteorit erkannt und die Gesamtmasse, glücklicherweise, ein Jahr später wieder aufgefunden.

¹⁾ Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. W. KIESL und F. KLUGER, Institut für Analytische Chemie d. Universität Wien, Währingerstr. 38, 1090 Wien. – Österreich.

*) Herrn Univ.-Prof. Dr. Josef ZEMANN zum 60. Geburtstag gewidmet.

Da von diesem Meteorit ausreichend Material zur Verfügung stand, war es möglich, repräsentative Bestimmungen der Elementverteilung zwischen dem Silikat-Anteil und der Metall-Phase auszuführen.

Methode

Die Idee zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des reinen Silikat- bzw. Metall-Anteils geht zurück auf die Dissertation von G. ORTNER (1969), wobei es offensichtlich die größten Probleme bei der Trennung der beiden Anteile gab.

So wurde verschiedentlich vorgeschlagen (NISHIMURA & al. 1964; CHOU & al. 1973), eine Trennung der verschiedenen meteoritischen Phasen durch selektive Lösungsvorgänge anzustreben, doch sind diese nicht quantitativ zu beschreiben und daher nur in beschränktem Maße zielführend.

Auch die Modifikation der dokimastischen Verfahren (BEAMISH, F. E. 1966) brachte nicht den gewünschten Erfolg, abgesehen von erheblichen experimentellen Schwierigkeiten. Selbst die Beschränkung auf die Extraktion der Edelmetalle war durch deren nicht-quantitatives Verhalten gekennzeichnet und machte die Notwendigkeit der Verwendung von Trägern zu einer unabdingbaren Voraussetzung. Neuerdings wurde von RAMMENSEE (1982) die Anwendung von metallischem Eisen vorgeschlagen. Das Spektrum der Elemente konnte dabei wesentlich erweitert werden, das Ziel der Autoren war jedoch ein grundsätzlich anderes, nämlich die Extraktion kurzlebiger Radionuklide nach der Neutronenaktivierung aus kohligen Chondriten, Eucriten und geologischen Proben, deren quantitative zerstörungsfreie Bestimmung infolge der hohen Untergrundaktivität der Matrix nicht möglich war.

Da eine reine Trennung der beiden Phasen jedenfalls nicht möglich ist, wählten wir eine Methode, bei der die Gefahr der Kontamination auf ein Minimum beschränkt war, nämlich die der magnetischen Anreicherung der Metallphase nach dem Pulverisieren des Meteorits in einer Achatmühle. Eine Berechnung der chemischen Zusammensetzung der reinen Phasen ist jedenfalls nach der Analyse der beiden Fraktionen möglich, auch wenn die nichtmagnetische Fraktion gewisse Anteile der metallischen Fraktion enthält und vice versa.

Die Berechnungsmethode wurde von KLUGER & WEINKE (1974 a, b) veröffentlicht und sei deshalb hier nur in ihren wesentlichen Grundzügen dargelegt.

Die Konzentration eines Elements in der reinen Metallphase in Bezug auf die Gesamtprobe $(X_T)_M$ wird durch die Gleichung 1 beschrieben

$$(X_T)_M = \frac{Z \cdot X_M - X_T}{Z \cdot P \cdot Y - 1} \quad (1)$$

X_M = Konzentration des Elements in der magnetischen Fraktion

X_T = Konzentration des Elements in der Gesamtprobe

Z, P, Y = Rechengrößen bzw. Korrekturfaktoren infolge der nichtselektiven Abtrennung der magnetischen Phase. Diese Faktoren werden experimentell ermittelt.

X_T in Gleichung 1 wird gewöhnlich durch den Ausdruck

$$X_T = \frac{X_M - X_R (P - 1)}{P} \quad (2)$$

ersetzt, wobei jetzt X_R der Gehalt des Elements im nichtmagnetischen Anteil ist, der analytisch leicht zugänglich ist und die zusätzliche Bestimmung des Elements aus einer repräsentativen Gesamtprobe überflüssig macht. Der Faktor P stellt den Quotienten aus dem Gewicht der Gesamtprobe (in unserem Fall 25 g) zum Gewicht der magnetischen Fraktion dar.

Der Faktor Z ist der Quotient des Anteils der nichtmagnetischen Fraktion in der Originalprobe zum Anteil der nichtmagnetischen Fraktion im magnetischen Anteil. Der Wert wird gewöhnlich über die Verteilung der beiden lithophilen Elemente Na und Sc ermittelt, von denen erwiesen ist, daß sie überwiegend in Silikatmineralen vertreten sind.

Selbstverständlich beruhen die Berechnungen auf einer Anzahl von Annahmen, deren wichtigste kurz skizziert seien:

(1) Ilmenit und Magnetit sollen im Idealfall abwesend sein. Dies trifft mit guter Näherung für gewöhnliche Chondrite zu, deren TiO_2 -Gehalt $\sim 0,1\%$ beträgt, während der Magnetit-Gehalt den Spurenbereich nicht übersteigt.

Es ist jedenfalls ein weiterer Korrekturfaktor bei der Anwendung der Berechnungsmethode auf LL-Chondrite anzubringen, bzw. allgemein auf Meteorite mit geringem Metallanteil.

Wenn ein erheblicher Magnetitanteil festgestellt wird ($\geq 1/20$ des Metallgehaltes), so ist allenfalls für die Verteilung von Ni eine Korrektur anzubringen, da

(2) Nickel ausschließlich in der Metallphase gebunden auftreten sollte. Dies ist eine Forderung, die üblicherweise nicht erfüllt wird. Der Nachweis ist über Mikrosondenuntersuchungen zu führen. Insbesondere der Ni-Gehalt in der Sulfidphase kann beträchtlich sein. Für die meisten equilibrierten Chondrite ist jedoch die Forderung gut erfüllt, da sich $\geq 98\%$ des Gesamtnickels in der Metallphase finden. Sollten Mikrosondenuntersuchungen allenfalls geringe Mengen an Nickel in Sulfiden bzw. Oxiden ergeben, so ist – wie zahlreiche von uns erhaltene Mikrosondendaten zeigten – der Korrekturfaktor Y für equilibrierte Chondrite mit dem empirischen Faktor 1,005 zu multiplizieren, womit

$$Y = \frac{(Ni_M)}{(Ni_T) \cdot P} \cdot 1,005 \quad (3)$$

wird. Ni_M bzw. Ni_T sind die Konzentrationen des Elements in der magnetischen Fraktion bzw. der Gesamtnickelgehalt des Meteorits in Masse-%.

Abschließend sei noch erwähnt, daß der in Chondriten auftretende Troilit-Anteil in der nichtmagnetischen Fraktion verbleibt, sodaß die chalkophil gebundenen Elemente in unserer Nomenklatur der sogenannten „Silikat-Phase“ zugerechnet werden. Der Troilit verbleibt durch Anwendung geringer magnetischer Feldstärken bei der Phasentrennung in der silikatischen Fraktion. Es sind jedoch

Bestrebungen im Gange, die Berechnungen auch auf die Sulfidphase auszudehnen, um so die Zusammensetzung der reinen Troilitkomponente ermitteln zu können.

Der Anteil der „Silikat-Phase“ (inclusive Troilit-Phase) des Meteorits von Abbsitz wurde zu 83,21% erhalten.

Experimentelles

Ca. 25 g des fein pulverisierten Meteorits wurden der magnetischen Phasentrennung unterworfen. Die magnetische bzw. nichtmagnetische Fraktion wurde nach den von uns bereits früher beschriebenen Methoden analysiert. Neben einer modernen naßchemischen Trennung der Hauptkomponenten und der meist komplexometrischen bzw. photometrischen Endbestimmung der Haupt- und Nebenbestandteile wurde für die Spurenelemente die radiochemische Bestimmung, nach Gruppenseparation, herangezogen. Na und K wurden, nach einem HF-Aufschluß, flammenphotometrisch direkt aus der Gesamtprobe bestimmt.

Resultate

In der Tabelle 1 sind die Resultate der Berechnungen nach der Analyse der magnetischen bzw. nichtmagnetischen Fraktion dargestellt. Die Silikat- bzw. Metall-Fraktion wurde auf 99,7% aufgerechnet. Aus der Analyse der beiden Fraktionen ergab sich zwangsläufig die Gesamtzusammensetzung des Ybbsitz-Meteorits.

Die Tabelle 2 zeigt die Verteilung der Spurenelemente auf die reinen Fraktionen aufgerechnet. Auch hier konnte ohne weiteres die Gesamtkonzentration der Elemente im Meteorit erhalten werden.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung des Meteorits von Ybbsitz (Total) bzw. der „Silikat“- und Metallphase in Masse -%.

Bestandteil	Total	„Silikat“ *)	Metall **)	Standard- abweichung %
SiO ₂	38,23	45,98	-	1
FeS	5,51	6,63	-	1
FeO	9,98	12,01	-	1
Fe	14,95	-	88,80	1
Ni	1,75	-	10,39	0,6
Co	0,086	-	0,51	1
Al ₂ O ₃	2,13	2,56	-	1,5
Cr ₂ O ₃	0,55	0,66	-	2
MgO	23,82	28,64	-	0,8
CaO	1,21	1,45	-	1
MnO	0,32	0,38	-	3
Na ₂ O	0,48	0,58	-	2
K ₂ O	0,086	0,10	-	3
TiO ₂	0,10	0,12	-	4
P ₂ O ₅	0,29	0,35	-	2
C + H ₂ O	0,20	0,24	-	10
Summe	99,70			

*) 0,30% für Spurenelemente

**) 0,30% für Spurenelemente

Tabelle 2: Konzentration der Spurenelemente des Meteorits von Ybbsitz (Total) bzw. der „Silikat“- und Metall-Phase.

Alle Angaben in ppm, mit Ausnahme von Br, J und Cs (in ppb).

Element	Total	„Silikat“	Metall	Standard- abweichung %
Cl	154	186	–	5
Br (ppb)	265	319	–	5
J (ppb)	17	20	–	10
Cu	67,8	23,4	288	5
Ga	4,6	2,9	13	5
As	1,51	0,099	8,51	5
Se	8,54	10,26	<0,01	5
Mo	1,44	0,99	3,66	10
Zn	44	52	3,2	5
Rb	1,82	2,18	–	10
Cs (ppb)	38,5	46	–	10
Os	0,86	0,036	4,93	10
Ru	1,14	0,10	6,25	10
Re	0,089	<0,002	0,529	10
Ir	0,692	0,126	3,49	5
Au	0,219	<0,001	1,30	5

In der Tabelle 3 sind schließlich die Seltenerdelement-Gehalte des Meteorits (Total) wiedergegeben und in Abb. 1 in chondritischer Normierung graphisch dargestellt.

Tabelle 3: SEE-Gehalte des Meteorits von Ybbsitz in ppb (in Klammern die relative Standardabweichung in %)

Element	Konzentration	Element	Konzentration
La	1040 (5)	Eu	73 (5)
Ce	2180 (5)	Tb	48 (10)
Nd	960 (10)	Yb	221 (5)
Sm	200 (5)	Lu	37 (5)

Diskussion

Die chemische Zusammensetzung des Ybbsitz-Meteorits entspricht im wesentlichen der eines H-Chondriten, obwohl doch einige bemerkenswerte Abweichungen festgestellt werden können. Zunächst fällt auf, daß die Gehalte an CaO und Na₂O unter jenen der entsprechenden Mittelwerte für diese Meteoritengruppe liegen. Für Na₂O ist diese Abweichung sogar beträchtlich. Auch der K₂O-Gehalt liegt unter den für H-Gruppen Meteorite üblichen Konzentrationen, sodaß ein Leaching-Effekt während der terrestrischen Verweilzeit infolge des Einflusses von Wasser angenommen werden darf. Eine Möglichkeit, die auch von PALME & al.

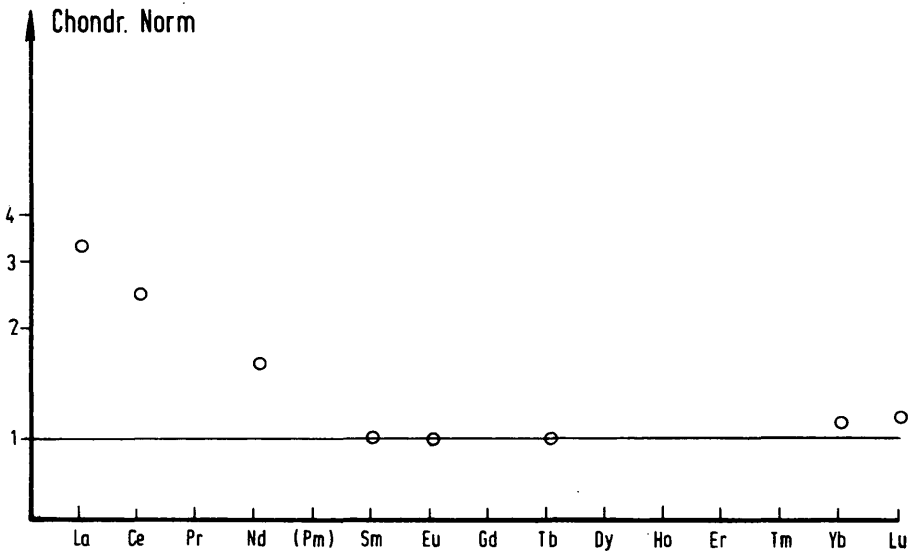


Abb. 1: Verteilungsmuster der SEE im Meteorit von Ybbsitz.

(1985) in Erwägung gezogen wird, obwohl der Meteorit keine deutlichen Verwitterungserscheinungen zeigt.

Besonders auffällig ist das Verteilungsmuster der SEE, das für Meteoriten nahezu einzigartig ist. Die leichten SEE sind geringfügig gegenüber der chondritischen Norm angereichert. Nach einem linearen Abfall auf den Normwert entspricht die Verteilung der schweren SEE der chondritischen Verteilung. Nun sind wohl Meteorite mit einer gewissen abnormen SEE-Verteilung bekannt, wie z. B. im Falle des Meteorits Guarena (NAKAMURA 1974), einem H-Gruppen-Chondrit, doch der Verlauf der Normkurve im Falle des Ybbsitz entspricht eher einem terrestrischen Verteilungsmuster.

Wir sind jedoch der Ansicht, daß dieses Verteilungsmuster charakteristisch für den Meteorit ist, während der terrestrischen Verweilzeit also nicht beeinflusst wurde. Der vorhin erwähnte Leaching-Effekt kann dafür keinesfalls in Betracht kommen, selbst wenn in Betracht gezogen werden muß, daß eine Natrium-Kalium-reiche Phase, in der normalerweise die SEE angereichert sein müßten, teilweise ausgewaschen wurde.

Auch ein terrestrischer Kontaminationseffekt ist nur schwer vorstellbar. Es käme dafür nur ein Gestein mit einem stark fraktioniertem SEE-Verteilungsmuster in Frage, das in geringen Mengen in die Innenregion des Meteorits vorgedrungen sein müßte. Um diese Möglichkeit ganz auszuschließen, wäre gegebenenfalls die SEE-Verteilung einer Bodenprobe der Fundstelle zu ermitteln. Das von uns ermittelte Verteilungsmuster, erhalten nach radiochemischer Separation der SEE, wird jedoch von PALME & al. (1985) nicht bestätigt. Allerdings schlagen die Autoren in ihrer Arbeit selbst eine radiochemische Trennung dieser Elemente vor, da bei den geringen Gehalten etwaige Abweichungen von chondritischen relativen Häufigkeiten besser erkannt werden können.

Von den in dieser Arbeit untersuchten Spurenelementen treten die Elemente Re und Au ausschließlich in der Metallphase auf ($D > 100$), Os, Ru und Ir dagegen weisen geringere Verteilungsverhältnisse auf ($D < 100$). Dies kann eventuell zu einer detaillierteren Charakterisierung des Kondensationsmodells der siderophilen Elemente bzw. einer nachfolgenden milden Metamorphose des Meteoritenmutterkörpers herangezogen werden. Obwohl die Kondensationstemperaturen von Re, Os, Ru und Ir unter den Bedingungen, die für einen abkühlenden solaren Nebel üblicherweise angesetzt werden (LORD 1965), über jenen der Fe-Ni-Komponente liegen, ist von diesen sogenannten refraktären siderophilen Elementen nur Rhenium vollständig in der metallischen Phase vertreten. Dies läßt auf eine gewisse Mobilität des Elements bei einem nachfolgenden schwach metamorphen Ereignis schließen.

Kupfer und Molybdän verteilen sich über die 3 Hauptphasen, wobei die Metallphase bevorzugt wird. Diese Beobachtung wurde schon bei Untersuchungen von HEY & al. (1968) bzw. MASON & al. (1970) gemacht.

Arsen tritt dagegen nahezu vollständig in der Metallphase auf. Gerade dieses Element ist ein schöner Beweis für die von uns vorgenommene Berechnungsmethode. Von ONISHI & al. (1955) wurde, nach Phasentrennungen, vermutet, daß das Element zwischen Metall- und Sulfid-Phase nahezu gleich verteilt sei. Doch bei Phasenuntersuchungen von FOUCHE & al. (1967) bzw. MASON & al. (1970) erwies es sich, daß das Element nahezu ausschließlich in der Metallphase auftritt. Die Erklärung für diese Diskrepanz liegt in der unvollständigen Phasentrennung, die von ONISHI ausgeführt worden war.

Mit dem Element Selen liegt dagegen ein rein chalkophiles Element vor, woraus sich für uns die Möglichkeit der weiteren Auftrennung unseres Silikat-Anteils in einen nunmehr nur noch aus Silikaten bestehenden Anteil und eine Sulfidphase ergibt. Da auch in diesem Fall die beiden Anteile zur Analyse nicht rein erhalten werden, erwarten wir über dieses Element die Möglichkeit der Berechnung von Korrekturparametern. Die dazu notwendigen Vorarbeiten sind jedoch noch keineswegs abgeschlossen.

Zu den Elementen Zn, Rb und Cs ist zu bemerken, daß sie in gewöhnlichen Chondriten durchwegs lithophiles Verhalten zeigen. Eine Ausnahme bildet eventuell das Element Zn, das in geringer Konzentration in der Metallphase auftritt. Es kann eine geringe Konzentration in der Sulfid-Phase jedoch nicht ausgeschlossen werden. Um diesen Sachverhalt zu klären, ist die Weiterverarbeitung der nichtmagnetischen Fraktion, wie sie bereits angedeutet wurde, von besonderem Interesse.

Danksagung: Die finanzielle Unterstützung des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt P 3197) wird dankbar anerkannt.

Literatur

- BEAMISH, F. E. (1966): *The Analytical Chemistry of Noble Metals*. – Oxford (Pergamon Press).
 CHOU, C. L., BAEDECKER, P. A. & WASSON, J. T. (1973): Distribution of Ni, Ga, Ge und Ir between metal und silicate portions of H-group chondrites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**: 2159–2171.

- FOUCHÉ, K. F. & SMALES, A. A. (1967): The distribution of trace elements in chondritic meteorites, 2. Sb, As, Au, Pd and Re. – *Chem. Geology*, **2**: 105–134.
- HEY, M. H. & EASTON, A. J. (1968): Copper in various phases of several olivine-hypersthene and olivine-bronzite chondrites. – *Mineralog. Mag.*, **36**: 855–858.
- KLUGER, F. & WEINKE, H. H. (1974): Über die Verteilung von Nickel in Steinmeteoriten I. – *Anzeiger Österr. Akad. Wiss.*, **111**: 22–30.
- (1974): Über die Verteilung von Nickel in Steinmeteoriten II. – *Anzeiger Österr. Akad. Wiss.*, **111**: 30–39.
- LORD, III, H. C. (1965): Molecular Equilibria and Condensation in a Solar Nebula and Cool Stellar Atmospheres. – *Icarus*, **4**: 279–288.
- MASON, B. & GRAHAM, A. L. (1970): Minor and trace elements in meteoritic minerals. – *Smithsonian Contr. Earth Sci.*, **3**.
- NAKAMURA, N. & MASUDA, A. (1973): Chondrites with peculiar Rare Earth patterns. – *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**: 429–437.
- NISHIMURA, M. & SANDELL, E. B. (1964): Zinc in meteorites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**, 1055–1079.
- ONISHI, H. & SANDELL, E. B. (1955): Geochemistry of arsenic. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **7**: 1–33.
- ORTNER, G. (1969): Bestimmung von Na, Mn, Cr, Ti, Cu, Ga und Au in Meteoriten und meteoritischen Phasen. – *Dissertation, Univ. Wien*.
- PALME, H., SPETTEL, B. & WÄNKE, H. (1985): Die chemische Zusammensetzung des Meteoriten von Ybbsitz. – *Ann. Naturhist. Mus.* **87/A**. – (dieser Band).
- RAMMENSEE, W. & PALME, H. (1982): Metal-Silicate Extraction Technique for the Analysis of Geological and Meteoritic Samples. – *J. Radioanalyt. Chem.*, **71**: 401–418.
- SCHNABEL, W. (1985): Fund- und Entdeckungsgeschichte des Meteorits von Ybbsitz. – *Ann. Naturhist. Mus.*, **87/A**. – (dieser Band).