©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

Ann. Naturhist. Mus. Wien	87	A	53–60	Wien, November 1985

Edelgase und ^{10}Be in Ybbsitz; Hinweise auf die Geschichte des Meteoriten

Von PETER SIGNER, ROLF SARAFIN, LUDOLF SCHULTZ, HARTWIG WEBER & RAINER WIELER[1])

(Mit 2 Abbildungen)

Manuskript eingelangt am 3. April 1985

Zusammenfassung

Konzentrationen und Isotopenzusammensetzung der Edelgase wurden massenspektrometrisch in drei Proben des Meteoriten Ybbsitz bestimmt. In einer der Proben wurde zusätzlich ^{10}Be gemessen. Aus den relativ niedrigen Gasretentionsaltern (K-Ar; U, Th-He) wird geschlossen, daß die Materie von Ybbsitz thermischen Belastungen ausgesetzt war. Das Ne-Bestrahlungsalter des Meteoriten ist 1,7 Millionen Jahre, in Übereinstimmung mit dem ^{10}Be-Alter von 1,5 Millionen Jahren, was auf eine einfache Bestrahlungsgeschichte von Ybbsitz hinweist. Auch in diesem Zeitraum wurde der Meteorit so warm, daß kosmogenes ^{3}He verloren ging. Die Konzentration der primordialen Edelgase ist im Einklang mit der Klassifizierung von Ybbsitz als H4-Chondrit.

Summary

Concentrations and isotopic abundances of noble gases were determined mass spectrometrically in three samples of the meteorite Ybbsitz. In one sample, ^{10}Be was also measured. The comparatively low gas retention ages (K-Ar; U, Th-He) show that the material of Ybbsitz was thermally affected. The Ne exposure age of the meteorite of 1.7 Ma is in agreement with the ^{10}Be age of 1.5 Ma. This indicates a simple cosmic ray exposure history of Ybbsitz. Also during this exposure, the meteorite was sufficiently heated to loose^{3} He. The concentrations of primordial noble gases are typical for H4 chondrites.

1. Einleitung

Edelgase in Steinmeteoriten können verschiedenen Ursprungs sein. Im wesentlichen entstammen sie drei verschiedenen Quellen:

● ^{4}He und ^{40}Ar entstehen überwiegend durch den *radioaktiven Zerfall* von U und Th bzw. K und dienen zur Bestimmung der sogenannten *Gasretentionsalter*. Da die meteoritische Materie vor ca. 4,55 Milliarden Jahren gebildet wurde, müßten auch die Retentionsalter bei diesem Wert liegen, falls keine Gasverluste aufgetreten sind. In vielen Fällen werden allerdings wesentlich niedrigere Werte

[1]) Anschrift der Verfasser: Prof. P. SIGNER & R. WIELER: ETH Zürich, NO C61, CH-8092 Zürich. – Schweiz.

Prof. L. SCHULTZ & H. W. WEBER: Max Planck Institut für Chemie, Saarstr. 23, D-6500 Mainz.

R. SARAFIN: Inst. f. Kernchemie, Univ. zu Köln, D-5000 Köln 1. – BRD.

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

beobachtet, wobei das U, Th-He Alter meist kleiner als das K-Ar Alter ist. Diese Beobachtungen werden durch Diffusionsverluste der radiogenen Edelgase erklärt. Sie können entweder auf dem Mutterkörper des Meteoriten stattgefunden haben oder auch während des Flugs des Meteoroiden als kleiner Körper. Zur radiogenen Edelgaskomponente können auch die aus Kernspaltung entstandenen Krypton- und Xenon-Isotope gerechnet werden.

● Materie ist im interplanetaren Raum der kosmischen Strahlung ausgesetzt. Durch diese Bestrahlung werden in Meteoroiden Kernreaktionen ausgelöst, die die sogenannten spallogenen (oder kosmogenen) Kerne erzeugen, so auch Edelgasnuklide. Die einfallende Strahlung ist allerdings schon in wenigen Metern Tiefe so stark abgeschwächt, daß keine spallogenen Kerne mehr entstehen. Da die Durchmesser der Meteoritenmutterkörper bis zu Hunderten von Kilometern betragen, ist die Einwirkung der kosmischen Strahlung auf die oberste Schicht beschränkt, die nur einen sehr kleinen Teil der Gesamtmasse ausmacht. Erst die bei Kollisionen entstehenden Bruchstücke werden wegen ihren viel kleineren Abmessungen im gesamten Volumen von der kosmischen Strahlung beeinflußt.

Die Konzentration der durch Kernreaktionen in einer Probe eines Meteoroiden erzeugten spallogenen Atome sind sehr gering. Weil Edelgase bei der Bildung der Meteorite nur in kleinsten Spuren eingebaut wurden, können *spallogene Edelgase* trotz ihrer niedrigen Konzentrationen noch nachgewiesen werden. Bei andern Elementen lassen sich die stabilen spallogenen Kerne meist wesentlich schwerer nachweisen. Aus den Konzentrationen der spallogenen Edelgasisotope werden sogenannte *Bestrahlungsalter* berechnet. Hierbei ist zu beachten, daß die Produktionsraten spallogener Isotope auch durch die Größe des Meteoroiden und die Lage der Probe bezüglich seiner Oberfläche bestimmt wird.

Radioaktive kosmogene Isotope wie ^{10}Be, ^{26}Al und ^{53}Mn lassen sich ebenfalls nachweisen und geben, je nach Halbwertszeit und Dauer der Bestrahlung, Aufschluß über das Bestrahlungsalter sowie das terrestrische Alter der Meteorite.

● Bei der Bildung fester Materie im Sonnensystem wurden im weitern *Ur-Edelgase* (auch primordiale Edelgase genannt) eingebaut. Je nach Grad der thermischen Belastung der Materie nach ihrer Bildung, die mit dem chemisch-petrologischen Typ des Meteoriten korreliert ist, können unterschiedliche Mengen dieser Gase in Meteoriten gefunden werden. Da sich die Isotopenverhältnisse der spallogenen und primordialen Edelgase stark unterscheiden, ist es möglich, die Konzentration der beiden Edelgaskomponenten zu bestimmen. Edelgase können auch durch den Sonnenwind in meteoritische Materie eingebracht werden.

2. Resultate und Diskussion

Konzentrationen und Isotopenzusammensetzung der Edelgase im Meteoriten Ybbsitz wurden massenspektrometrisch bestimmt. Experimentelle Einzelheiten der Apparaturen und der angewandten Prozeduren finden sich bei WEBER & al. 1983 sowie bei SIGNER & al. 1977. In Zürich wurden die Edelgase He, Ne, und Ar in den Proben 2C2 und 2C6 untersucht, in Mainz wurden zwei Messungen der

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1. Konzentrationen der gemessenen Edelgase (In 10^{-8} cm^3 STP/g).

	Gew. (mg)	^{3}He	^{4}He	^{20}Ne	^{21}Ne	^{22}Ne	^{36}Ar	^{38}Ar	^{40}Ar	^{84}Kr	^{132}Xe
2C2	142	1,54	772	,617	,613	,658	1,92	,410	3430		
2C6	207	1,60	820	,616	,621	,669	1,80	,396	2590		
2C4/1	221	1,63	910	,607	,612	,661	2,04	,455	3650	,027	,043
2C4/2	230	1,67	969	,622	,635	,685	2,01	,445	3870	,024	,041
2C4	Mittel	1,65	940	,61	,62	,67	2,03	,450	3760	,026	,042

Probe 2C4 durchgeführt, wobei auch die Konzentration der Hauptisotope von Kr und Xe bestimmt wurde. Die Meßresultate sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Die Lage der Proben ist in Tafel 4 im Beitrag von BRANDSTÄTTER & al. 1985 ersichtlich. ^{10}Be (Halbwertszeit 1,6 Millionen Jahre) wurde an einem Aliquot der Probe 2C2 mit dem 6 Megavolt Tandem Beschleuniger der ETH Zürich gemessen.

2.1 Retentionsalter

Die Konzentrationen des radiogenen ^{4}He und ^{40}Ar sind in Tabelle 2a zusammengestellt. Sie streuen mehr als es der experimentellen Fehlergrenze entsprechen würde; ein Effekt, der häufig beobachtet wird, weil U, Th und K in Proben um 200 mg Masse nicht homogen verteilt sind (e. g. BEGEMANN & al. 1985). Da bislang die Konzentrationen von U und Th in Ybbsitz nicht bestimmt wurden, nehmen wir die für H-Chondrite üblichen Mittelwerte von 11 ppb, beziehungsweise 40 ppb zur Berechnung des U, Th-He-Retentionsalters und den gewichteten Mittelwert aller vier He-Messungen. Zur Berechnung des K-Ar-Retentionsalters verwenden wir ebenfalls den für H-Chondriten geltenden Mittelwert der K-Konzentration von 830 ppm, obwohl hier zwei Messungen der K-Konzentration mitgeteilt werden (KIESL & KLUGER 1985; PALME & al. 1985), die jedoch auch an kleinen Probenmengen erfolgten und deshalb nicht mit Sicherheit auf den Gesamtmeteorit übertragbar sind. Mit diesen Konzentrationen würden in 4,55 Milliarden Jahren 1890×10^{-8} cm^3 STP ^{4}He/g und 6350×10^{-8} cm^3 STP ^{40}Ar/g entstehen. Die gemessenen ^{4}He- und ^{40}Ar-Konzentration entsprechen dagegen nur 46% bzw. 58% dieser Werte. Aus den obigen Daten ergeben sich das U, Th-He und K-Ar-Gasretentionsalter zu 2,79 bzw. 3,65 Milliarden Jahren. Der Verlust an ^{4}He und ^{40}Ar zeigt, daß die uns als Ybbsitz bekannte meteoritische Materie im Laufe ihrer Geschichte erwärmt wurde, wobei erhebliche Mengen ^{4}He und ^{40}Ar entweichen konnten.

2.2 Bestrahlungsalter

Die spallogenen Edelgase in Ybbsitz sind in der Tabelle 2b aufgeführt. Zur Berechnung der Konzentration des spallogenen Ne wurde angenommen, daß dieses ein $^{20}Ne/^{22}Ne$ Verhältnis von 0,83 habe und daß dem spallogenen Ne ein kleiner Anteil einer Komponente überlagert ist, deren Isotopenhäufigkeit gleich jener des atmosphärischen Ne ist. Ähnlich wurde das spallogene ^{38}Ar berechnet (spallogenes $^{36}Ar/^{38}Ar = 0,65$).

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 2. Edelgaskomponenten in Ybbsitz (in Einheiten von 10^{-8} cm^3 STP/g). Das Probengewicht wurde als Gewichtung für die Bildung der Mittelwerte verwendet.

2a: Radiogene Edelgase und Gasrententionsalter. Hierbei wurde für den spallogenen ^{4}He-Anteil angenommen, daß er der 5fachen Menge des ^{3}He entspricht.

	^{4}He	^{40}Ar
2C2	765	3430
2C6	813	2590
2C4/1	902	3650
2C4/2	961	3870
Gewichtetes Mittel	872	3680 *
Retentionsalter	2790 Ma	3650 Ma*

(* Messung von 2C6 nicht berücksichtigt)

2b: Spallogene Edelgase und ^{10}Be in Ybbsitz; Bestrahlungsalter.

	^{3}He	^{21}Ne	^{38}Ar	^{3}He/^{21}Ne	^{22}Ne/^{21}Ne	^{10}Be [dpm/kg]
2C2	1,54	,613	,057	2,51	1,061	9,2±0,5
2C6	1,60	,621	,065	2,58	1,065	
2C4	1,65	,624	,079	2,70	1,069	
Mittel	1,62	,621	,071	2,61	1,067	

^{21}Ne Bestrahlungsalter 1,7±0,2 Ma
^{10}Be Bestrahlungsalter 1,5±0,3 Ma

2c: Edelgase, die weder radiogenen noch spallogenen Ursprungs sind.

	^{20}Ne	^{36}Ar	^{84}Kr	^{132}Xe
2C2	,05	1,8		
2C6	,05	1,8		
2C4	,05	2,0	,026	,042

In Abb. 1 ist der Datenpunkt des Mittels der drei Ybbsitz-Proben im ^{3}He/^{21}Ne-^{22}Ne/^{21}Ne-Diagramm dargestellt. Neben Ybbsitz sind auch der Literatur entnommene Daten von Proben aus verschiedenen Tiefen der Meteorite St. Severin, Keyes, ALH78084 und Knyahinya dargestellt, um den beobachteten Wertebereich zu zeigen. Der Datenpunkt für Ybbsitz liegt deutlich unter dem Bereich „normaler" Spallationsverhältnisse. Danach hätte Ybbsitz etwa 25% des ^{3}He verloren, ein Verlust, der erst während oder nach der Bestrahlung aufgetreten sein kann. Ob dieser Verlust an spallogenem ^{3}He und der Verlust von radiogenem ^{4}He und ^{40}Ar durch ein und dasselbe Ereignis erfolgte, kann nicht entschieden werden.

Aus dem relativ niedrigen ^{22}Ne/^{21}Ne-Verhältnis folgt, daß der Meteoroid von Ybbsitz wesentlich größer als die Fundmasse von 15 kg gewesen sein muß und daß die von uns untersuchten Proben aus relativ abgeschirmten Positionen stammen müssen. Dieser Schluß wird durch die Ähnlichkeit der Konzentrationen und der ^{22}Ne/^{21}Ne-Verhältnisse des spallogenen Ne in den drei, um einige cm voneinander entfernten Proben, bestätigt. Nur im Innern eines großen Meteoroiden ist der

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

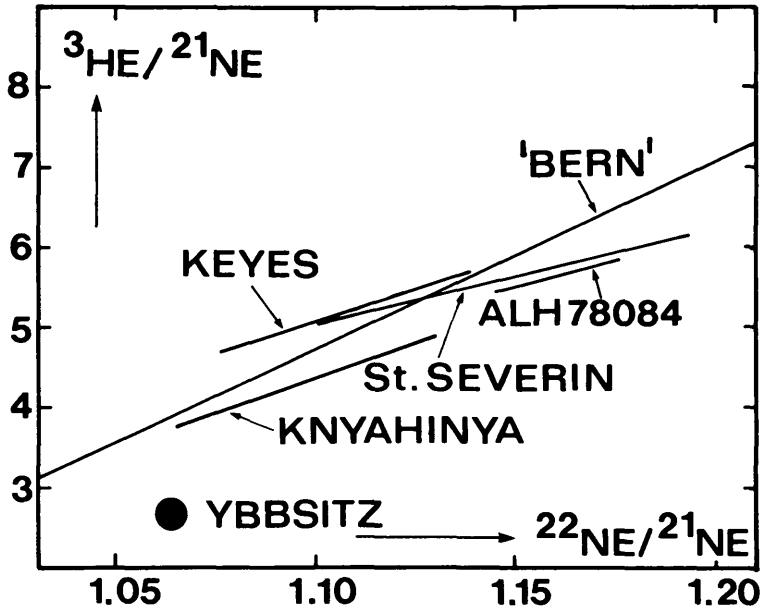

Abb. 1. ^{3}He/^{21}Ne-^{22}Ne/^{21}Ne-Diagramm. Die beiden Verhältnisse sind sowohl von der Größe des Meteoroiden als auch von der Lage der Probe in demselben abhängig. Zur Illustration dieser Abhängigkeit sind, neben dem Datenpunkt von Ybbsitz, auch die Lage der Datenpunkte von Proben aus verschiedenen Tiefen anderer Meteorite angegeben. Der niedrige Wert des ^{3}He/^{21}Ne-Verhältnisses von Ybbsitz zeigt einen erheblichen Verlust von ^{3}He bei einer spät in seiner Geschichte aufgetretenen Erwärmung an. Andererseits muß aus den niedrigen ^{22}Ne/^{21}Ne-Verhältnissen geschlossen werden, daß die präatmosphärische Masse von Ybbsitz vermutlich größer als 1000 kg war.

Gradient der Ne-Produktion so flach wie hier festgestellt. Im Hinblick auf die Größe des Meteoroiden kann die Bestrahlungsdauer von Ybbsitz erst nach einer Korrektur für die Abschirmung berechnet werden. Wird das Verhältnis ^{22}Ne/^{21}Ne als Maß für die Abschirmung genommen und folgt man einer von NISHIIZUMI & al. 1980 angegebenen Prozedur zur Berechnung der Produktionsrate, dann ergibt sich für Ybbsitz ein ^{21}Ne Bestrahlungsalter von 1,7±0,2 Millionen Jahren, wobei der Fehler zum großen Teil auf die nur auf ca. 10% genau bekannte Produktionsrate zurückzuführen ist. Dieses Alter ist vergleichsweise kurz; nur etwa 3% aller untersuchten Meteorite dieser Klasse haben noch kürzere Bestrahlungsalter.

Die gemessene spezifische ^{10}Be-Aktivität ist ebenfalls in Tabelle 2b angegeben. Für H-Chondrite kann an Stellen, an denen das ^{22}Ne/^{21}Ne Verhältnis 1,065 beträgt, mit einer ^{10}Be-Produktionsrate von etwa 19,6±1,5 dpm/kg gerechnet werden (SARAFIN & al. 1984). Damit ergibt sich ein ^{10}Be-Bestrahlungsalter von 1,5±0,3 Millionen Jahren, was innerhalb der Fehler mit dem ^{21}Ne Alter übereinstimmt. Während stabile spallogene Nuklide, wie etwa ^{21}Ne, über die gesamte Bestrahlungsdauer integrieren, sind spallogene Radionuklide ein Maß für die Bestrahlungsintensität während der letzten paar Halbwertzeiten der Bestrahlung. Je mehr des spallogenen ^{21}Ne bei einer zweistufigen Bestrahlung in der ersten

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

Phase, in einem größeren Vorgänger-Meteoroid, entstanden ist, desto größer wäre der Unterschied zwischen den beiden Bestrahlungsaltern, wobei das ^{10}Be-Alter unter dem ^{21}Ne-Alter liegen muß. Da die beiden Bestrahlungsalter innerhalb der Fehler übereinstimmen, ist eine einfache Bestrahlungsgeschichte von Ybbsitz also wahrscheinlich. Eine Vorbestrahlung in einem Vorgänger-Meteoroid müßte jedenfalls verhältnismäßig kurz gewesen sein, womit die Wahrscheinlichkeit einer zweiten Kollision ebenfalls klein wird. Eine genauere Klärung dieser Frage bedarf einerseits sicherer Werte für die Produktionsraten und Sättigungsaktivitäten und andererseits der Untersuchung weiterer spallogener Radionuklide.

2.3 Die Ur-Edelgase

Die Konzentrationen der Edelgase, die weder durch radioaktiven Zerfall noch durch die kosmische Strahlung erzeugt wurden, sind in der Tabelle 2c aufgeführt. Ob es sich bei den kleinen Ne-Gasmengen um Ur-Edelgase oder um eine adsorbierte atmosphärische Komponente handelt, ist unklar. Da zwei Laboratorien mit unterschiedlichen experimentellen Verfahren zu den gleichen Resultaten gelan-

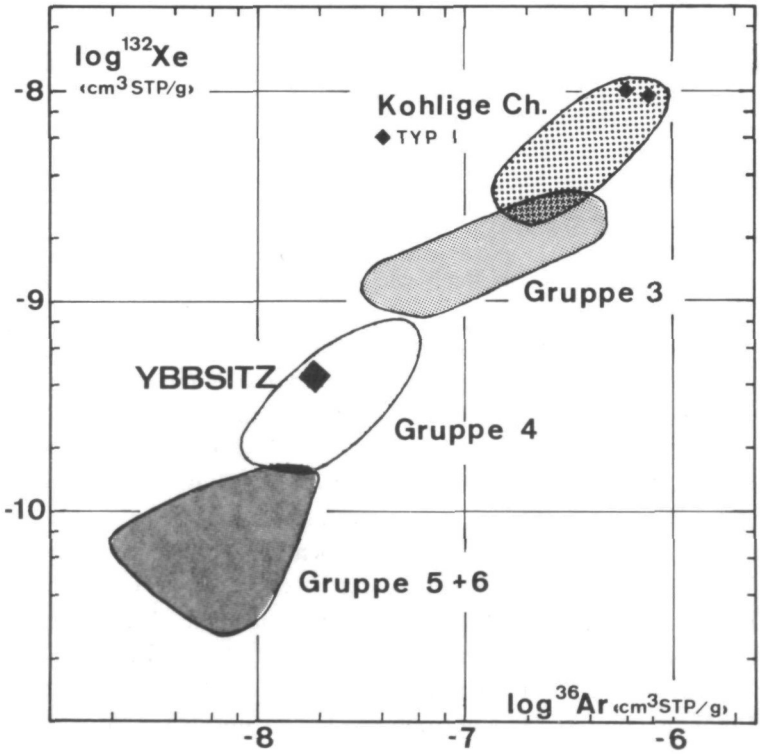

Abb. 2. ^{132}-Xe versus ^{36}Ar-Konzentrationen von Ybbsitz in logarithmischem Maßstab. Ebenfalls angegeben sind die Lagen der Datenpunkte für Chondriten der verschiedenen chemisch-petrologischen Gruppen. Der Datenpunkt von Ybbsitz ist in Übereinstimmung mit der Klassifikation des Meteoriten als Chondrit der chemisch-petrologischen Gruppe 4.

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

gen, schließen wir, daß sich die Gase wirklich in der Probe befinden und dort stark gebunden sind. Die Ar- und Xe-Konzentrationen (siehe Abb. 2), wie auch die Kr-Gehalte sind vergleichbar mit denen, die in anderen Chondriten der chemisch-petrologischen Klasse 4 gefunden werden. Die Edelgasdaten bestätigen somit die Klassifikation von Ybbsitz als H4-Chondrit.

3. Schlußfolgerungen

Unsere Bestimmungen der Edelgase in 3 Proben des H4-Chondriten Ybbsitz zeigen, daß das Material radiogenes ^{4}He und ^{40}Ar verloren hat. Ob dieser Verlust in einer oder zwei Episoden stattfand, läßt sich nicht entscheiden. Falls spallogenes ^{3}He sowie radiogenes ^{4}He und ^{40}Ar gleichzeitig verloren gingen, muß dieser Verlust spät in der Geschichte von Ybbsitz, nämlich vor weniger als 1,7 Mio. Jahren erfolgt sein. In diesem Falle mag man spekulieren, daß die Bahn des Meteoroiden vor dessen Einfang durch die Erde derart nahe an der Sonne vorbei führte, daß die Erwärmung infolge der Sonneneinstrahlung zu den beobachteten Gasverlusten führte. Möglicherweise sind die radiogenen Edelgase aber schon auf dem Mutterkörper des Meteoroiden teilweise entwichen. Dann ist es wahrscheinlich, daß die Erwärmung die Folge eines Einschlages auf dem Mutterkörper war.

Das Isotopenverhältnis des spallogenen Ne zeigt, daß die untersuchten Proben aus dem Inneren eines Meteoroiden stammen, der wesentlich größer war, als das Fundgewicht des Meteoriten ist. Auch wenn der Meteoroid bei seinem Durchgang durch die Erdatmosphäre starke Verluste durch Abschmelzung erlitten hat, besteht die Möglichkeit, daß weitere Stücke von Ybbsitz existieren, die nicht aufgefunden wurden.

Die Übereinstimmung der aus dem kosmogenen ^{21}Ne und ^{10}Be berechneten Bestrahlungsalter zeigt, daß der zu Ybbsitz führende Meteoroid vermutlich eine einstufige Bestrahlungsgeschichte hatte, also durch eine einzige Kollision in seiner präatmosphärischen Größe aus dem Mutterkörper herausgebrochen wurde. Dieses Ereignis erfolgte vor etwa 1,5–1,7 Millionen Jahren.

Danksagungen: Wir danken dem Naturhistorischen Museum Wien und insbesondere Herrn Dr. Gero KURAT für die uns zur Verfügung gestellten Proben des Meteoriten Ybbsitz. Die ^{10}Be-Bestimmung wurde durch die Gruppe um Prof. Willy WÖLFLI, ETH Zürich, durchgeführt, wofür wir herzlich danken.

Literatur

BEGEMANN, F., ZHAOHUI, L., SCHMITT-STRECKER, S., WEBER, H. W. & XU, Z. (1985): Noble gases and the history of Jilin meteorite. – Earth Planet. Sci. Lett., **72:** 247–262, 8 Abb. – Amsterdam.

BRANDSTÄTTER, F., KIRCHNER, E., KRACHER, A. & KURAT, G. (1985): Der Meteorit von Ybbsitz: Petrologie und Mineralchemie. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, **87**/A: 11–20, 4 Abb., 4 Taf. – Wien. (dieser Band)

KIESL, W. & KLUGER, F. (1985): Chemische Untersuchungen am Ybbsitz-Meteorit. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, **87**/A: 39–46. – Wien. (dieser Band)

NISHIIZUMI, K., REGNIER, S., & MARTI, K. (1980): Cosmic ray exposure ages of chondrites, pre-irradiation and constancy of cosmic ray flux in the past. – Earth Planet. Sci. Lett., **50:** 156–170, 11 Abb. – Amsterdam.

©Naturhistorisches Museum Wien, download unter www.biologiezentrum.at

PALME, H., SPETTEL, B., & WÄNKE, H. (1985): Die chemische Zusammensetzung des Meteoriten von Ybbsitz. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, **87**/A: 47–51. – Wien. (dieser Band)

SARAFIN, R., BONANI, G., HERPERS, U., SIGNER, P., HOFMANN, H. J., NESSI, M., MORENZONI, E., SUTER, M., & WÖLFLI, W. (1984): Spallogenic nuclides in meteorites by conventional and accelerator mass spectrometry. – Nucl. Inst. & Methods, **233** [B5]: 411–414, 2 Abb. – Amsterdam.

SIGNER, P., BAUR, H., DERKSEN, U., ETIQUE, PH., FUNK, H., HORN, P. & WIELER, R. (1977): Helium, neon, and argon records of lunar soil evolution. – Proc. Lun. Sci. Conf. 8th: 3657–3683, 9 Abb. – Frankfurt.

WEBER, H., W., BRAUN, O., SCHULTZ, L., & BEGEMANN, F. (1983). The noble gas record in Antarctic and other meteorites. – Z. Naturf., **38a:** 267–272.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: 87A

Autor(en)/Author(s): Signer Peter, Sarafin Rolf, Schultz Ludolf, Weber Hartwig W., Wieler Rainer

Artikel/Article: Edelgase und Be in Ybbsitz; Hinweise auf die Geschichte des Meteoriten 53-60