Berg Huettenmaenn Monatsh (2019) Vol. 164 (2): 77–83
<https://doi.org/10.1007/s00501-018-0817-6>
 © Der/die Autor(en) 2019

BHM Berg- und
 Hüttenmännische
 Monatshefte

Mg-Isotopie in Magnesiten – eine Pilotstudie für den Lagerstätten-Isotopenkatalog Österreichs

Fritz Ebner^{1,3}, Dorothee Hippler², Martin Dietzel² und Heinrich Mali¹

¹Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

²Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz, Graz, Österreich

³Graz, Österreich

Eingegangen 13. Dezember 2018; angenommen 15. Dezember 2018; online publiziert 10. Januar 2019

Zusammenfassung: Zur systematischen Erfassung von Isotopendaten österreichischer Lagerstätten wurden erstmals stabile Mg-Isotope ($\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$) ausgewählter ostalpiner Spatmagnetitlagerstätten/-vorkommen (Hohentauern/Sunk, Hochfilzen, Breitenau, Radenthein/Millstätter Alpe, Kaswassergraben) und des kryptokristallinen Kraubath Magnesits bestimmt. Zusätzlich wurde aus Vergleichsgründen und zur Charakterisierung wichtiger Typen von Magnetitlagerstätten auch ausländisches Material (Bela Stena/Serbien, Bushveld/Südafrika, Poldasht/NW Iran) untersucht. Dabei wurden für die global wichtigen Typen von Magnetitlagerstätten signifikant unterschiedliche $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte ermittelt: *Kraubath-Typ* –2.88‰ bis –1.80‰, *Veitsch-Typ* –1.54 bis –0.49‰, *Bela Stena-Typ* –1.07 bis –0.42‰, *Poldasht-Typ* –1.04 bis +1.01‰. Diese lassen sich weitestgehend auf die unterschiedlichen Bildungsprozesse (z.B. Evaporation, Metasomatose) zurückführen.

Schlüsselwörter: Magnetitlagerstätten, Mg-Isotope, Spatmagnetit, Kryptokristalliner Magnetit, Lagerstätten-Typisierung, Österreich

Mg-isotopes in Magnesite—a Pilot Study for the Austrian Deposit's Isotope Database

Abstract: Magnesite of selected Austrian deposits/occurrences (sparry magnesite of Hohentauern/Sunk, Hochfilzen, Breitenau, Radenthein/Millstätter Alpe, Kaswassergraben and cryptocrystalline magnesite of Kraubath) were analysed for their stable Mg-isotope composition ($\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$). This pilot study focussed on the extension/completion of isotope data of Austrian mineral deposits. Additionally, some foreign types of magnesite (Bela Stena/Serbia, Bushveld/South Africa, Poldasht/NW Iran) were also analysed for comparison in order to evaluate site-specific

characteristics. We found that the most important types of magnesite yield specific $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -values: *Kraubath-type* –2.88‰ up to –1.80‰, *Veitsch-type* –1.54 up to –0.49‰, *Bela Stena-type* –1.07 up to –0.42‰ and *Poldasht-type* –1.04 up to +1.01‰, the latter deciphering the different formation mechanisms.

Keywords: Magnesite deposits, Mg-isotopes, Sparry magnesite, Cryptocrystalline magnesite, Typification of deposits, Austria

1. Einleitung

In der Programmbeschreibung der GBA Forschungspartnerschaft: „Grundlagenorientierte Mineralrohstoffforschung“ wird die systematische Erfassung von Isotopendaten österreichischer Lagerstätten als prioritär ausgewiesen, nachdem schon 2009 die Struktur einer derartigen Datenbank vorgestellt wurde [1]. Bedingt durch die damals verfügbaren Daten wurden in diesem Vorschlag aber nur die Isotope des O, C, H und S berücksichtigt. Das vorliegende Pilotprojekt zielt daher auf die stabile Mg-Isotopensignatur ($\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$) aus Magnesiten (1) zur Ergänzung dieser Isotopendatenbank, (2) zur Charakterisierung von Magnetitlagerstätten und (3) zur Unterstützung für genetische Fragestellungen ab. Diesen Untersuchungen kommt ein innovativer Charakter zu, da bei der Projektplanung weltweit noch keine Angaben über Mg-Isotope in Magnesiten vorlagen und erst mit Projektbeginn (Sommer 2016) aus chinesischen Lagerstätten weltweit die ersten δ -Mg Isotopenwerte aus Magnesiten publiziert wurden [2].

2. Methodik

Nach makroskopischer Materialauswahl wurden an polierten Gesteinsanschliffen nach HCl-Ätzung und Auflichtmikroskopie möglichst homogene Bereiche definiert, aus

em. O. Univ.-Prof. Dr. F. Ebner (✉)
 Waldeufelweg 13a,
 8047 Graz, Österreich
fritz.ebner@gmx.net

denen über Mikrodrilling das Analysenmaterial gewonnen wurde. Aliquote von ca. 1 mg wurden anschließend mit konzentrierter HNO_3 aufgelöst und das Mg mittels einer zweistufigen Ionenchromatographie chemisch abgetrennt [3]. Die Messung der Mg-Isotope erfolgte mit hochauflösender Multikollektor-Massenspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (HR-MC-ICP-MS, Nu Instruments, Wexham, Großbritannien) im NAWI Zentrallabor für Wasser, Gesteine und Minerale der TU Graz. Die Mg-Isotopie wird in der δ -Notation ($\delta^{25}\text{Mg}$ und $\delta^{26}\text{Mg}$) als relative Abweichung zum Referenzmaterial DSM-3 in‰ angegeben. Ein δ -Wert entspricht dabei mindestens vier Wiederholungsmessungen, mit einer analytischen Unsicherheit auf $\delta^{25}\text{Mg}$ und $\delta^{26}\text{Mg}$ von $\leq 0,10$ bzw. $0,15$ ‰.

3. Herkunft und geologische Charakteristik des Probenmaterials

Unter der Prämisse dass Magnesite unterschiedlicher Genese und geologischer Situierung eine unterschiedliche Mg-Isotopie aufweisen, wurden aus Österreich folgende, verschiedenen metallogenetischen Bezirken [4, 5] angehörige Magnesite untersucht (Abb. 1):

1. Metasomatischer Spatmagnetit (Veitsch-Typ) der Lagerstätten Hohentauern/Sunk, Hochfilzen, Breitenau und Radenthein,
2. Grobkristalliner Spat- („Salinar-“) magnetit des Kaswassergrabens,
3. Kryptokristalliner Magnetit aus dem Serpentin von Kraubath (Kraubath-Typ).

Tab. 1 zeigt die $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte und anderen für die Isotopendatenbank relevanten Daten der untersuchten österreichischen Proben. Zur Absteckung der Variation der $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte im Magnetit wurden zusätzlich auch ausländische Lokalitäten mit zu österreichischen Lagerstätten/Vorkommen konträrem Magnetit-Bildungsmilieu untersucht (Tab. 2):

1. Sedimentärer kryptokristalliner Magnetit aus Bela Stena/Serbien,
2. Kryptokristalliner Magnetit aus dem Bushveld Komplex/Südafrika,
3. Rezentere kryptokristalliner Magnetit aus Playas von Poldasht/NW Iran.

Bei Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop zeigt sich, dass weder beim Spatmagnetit in Karbonatgesteinen noch beim Kraubath-Typ Magnetit in Serpentin mit monomineralischen Proben zu rechnen ist. Im Spatmagnetit finden sich neben Resten des nicht umgewandelten Dolomits immer mehrere Generationen von syn- bis postmagnetitischem Dolomit (Abb. 2). Der Magnetit vom Kraubath-Typ führt reichlich Reste von nicht umgewandeltem Serpentin (Abb. 3). Die feinstkörnigen chemisch gefällten Magnesite vom Bela Stena- und Poldasht-Typ sind dagegen homogen und nur durch klastisch eingetragene Sedimentkomponenten verunreinigt.

3.1 Hohentauern/Sunk

Die Lagerstätte ist an karbone geringmetamorphe Karbonatgesteine gebunden. Bevorzugt tritt grobkörniger Pinolith- und Bändermagnetit auf, für den ein metasomatisches Bildungsmodell und durch Sm/Nd Datierungen ein oberkarbones bis unterpermisches Bildungsalter belegt ist. Dolomit in der Umhüllung des Magnetits, wie auch im Magnetit, entstammt unterschiedlichen Generationen [6].

Proben:

- Magnetit: H8, H8F, H 11 (Pinolithmagnetit), H9 (Bändermagnetit)
- Dolomit (H7-1 fossilführend, H7-2 grobkörnig) vom metasomatischen Kontakt zum Spatmagnetit (H7-3M, H7-3MD)
- Kokardendolomit: Dolomitlage der Kokarde (H14-1D), laminierte Dolomitkluft (H14-2D).

Abb. 1: Die Magnetitbezirke Österreichs mit Hinweis (Fett-druck) auf die untersuchten Lagerstätten/Vorkommen. Die Reichweite der in Magnetit und Dolomit gemessenen $\delta^{26}\text{Mg}$ -Werte ist ebenfalls angegeben. Abkürzungen: M für Magnetit, D für Dolomit und KKD für Kokardendolomit

M A G N E S I T - B E Z I R K E		Untersuchte Lagerstätten	
SPATMAGNESIT (VEITSCH Typ) 1. M. -Scheelitbez. Innsbrucker-Quarzphyllit-Decke 2. M-(Talk-)bez. Veitsch-Decke: Hohentauern 3. M. Bez. Tirolisch-Norisches-Deckensystem - Wildseeloder-Einheit: Weissenstein, Bürglkopf, Inschlagalm 4. M.-(Eisenkarbonat-)bez. Tirolisch-Norisches-Deckensystem 5. M.-(Scheelit-)bezirk - Stolzalpen-Decke 6. M. Bez. Grazer Paläozoikum – Hackensteiner-Fm.: Breitenau Einzellagerstätte: 7. Koralpe-Wölz Deckensystem: Radenthein-Millstätter Alpe		In Karbonatgesteinen Veitsch-Typ 2. Hohentauern M: -0.88 bis -0.62 ‰ D: -0.58 bis -0.45 ‰ KKD: -0.65 bis -0.75 ‰ 3. Hochfilzen M: -1.54 bis -1.04 ‰ D: -1.22 bis -0.97 ‰ 6. Breitenau M: -0.93 bis -0.72 ‰ D: -0.13 bis +0.5 ‰ 7. Radenthein M: -0.84 bis -0.49 ‰ D: -2.02 bis -1.21 ‰	
SALINARMAGNESIT 8. Evaporitbez. Permoskyth Tirolisch-Norisches, Bajuvarisches und Juvavisches Deckensystem Östliche Kalkalpen: Kaswassergraben		Salinarmagnetit 8. Kaswassergraben M: -1,37 bis -1,27 ‰ D: --	
KRAUBATH-Typ 9. M.-Chromit-Asbestbez. Silvretta-Seckau-Deckensystem: Kraubath 10. M. Bez. Gföhl-Deckensystem - Dunkelsteiner Wald		In Ultrabasiten Kraubath-Typ 9. Kraubath M: -2,88 bis -1,93 ‰	

Abb. 2: Metasomatisch gebildeter Spatmagnetit zeigt im Rasterelektronenmikroskop immer Kontaminationen durch Dolomit. (a Hohentauern, H8) postmagnetitisch gebildeter Dolomit (D) im hellgrauen Spatmagnetit (M). (b Breitenau, P13) Phantome von nicht umgewandeltem Dolomit (D) in grauem Spatmagnetit (M). (c Breitenau, P13) typischer Spatmagnetit

Abb. 3: a Selbst makroskopisch homogen erscheinender Kraubath-Magnetit (Au45) zeigt im Rasterelektronenmikroskop (b) intensive Verwachsungen von nicht umgewandeltem Serpentin (S) im kryptokristallinen Magnetit (M)

3.2 Hochfilzen

Im Bereich Weissenstein-Bürglkopf liegt das Magnetitlager in bis zu 500m mächtigem Dolomit (Obersilur – Unterdevon), dem pelagische Kalke vorausgegangen sind. Die Primärgefüge sind durch die metasomatische Magnetitbildung weitgehend verdrängt. Der unterschiedlich gefärbte Magnetit ist meist feinkörnig. Am Bürglkopf findet sich auch eine feinkörnige braune, „sandig“ anwitternde Varietät und auf der Inschlagalm ist zusätzlich typischer Spatmagnetit entwickelt [7, 8].

Proben:

- Dolomit Weissenstein: hof-1, hof-2
- Magnetit Bürgl: hof-9 (rot), hof-10 (hellgrau); Kontakt Dolomit (hof-11D) zu Magnetit (sandig, braun; hof-11M).
- Magnetit Inschlagalm: hof-12M, Dolomit des Kontaktes (hof-12D).

3.3 Breitenau/Grazer Paläozoikum

Der grobkörnige Magnetit (darunter auch Bänder- und Pinolitmagnetit) ist an graue bis 200m mächtige unterdevone Dolomite gebunden. Späte Dolomitbildungen sind Rosszanddolomit, Redolomitisierung entlang von Spaltrissen/ Kristallgrenzen sowie pigmentreiche grobe Dolomitkristalle. Geochemie und Kontakte des Magnetits zum Wirtsgestein deuten auf eine metasomatische Magnetitbildung,

die nach Sm/Nd-Datierungen in der Obertrias stattfand [9, 10].

Proben:

- Magnetit: P-Br1 (Magnetitsonne), P3 (grobkristallin), P13 (Pinolitmagnetit), P16M (Pinolitmagnetit in Dolomit P16D).
- Dolomit: P22a (grau), P16D (schwarz; darin aufsprießender Magnetit P16M)

3.4 Radenthein/Millstätter Alpe

Der 30–70m mächtige Spatmagnetitkörper wird von Calcit- und Dolomitmarmoren begleitet, die zusammen in kreuzförmig geprägte Granatglimmerschiefer eingelagert sind. Vorherrschend ist neben grobkörnigem Pinolit- und Bändermagnetit auch weißer Spatmagnetit (Magnetitmarmor). Für ihre Genese werden metasomatische Modelle neben der Bildung in einem abgeschnürten Evaporitbecken ange-dacht [4, 11].

Proben:

- Spatmagnetit: R4-3, R5-2.1, R5-2.2, R5-2.3; Dolomit: R4-1, R5-1

TABELLE 1

Lokalitäten und Isotopendaten (Mg, C, O) der für die Isotopendatenbank Österreichs untersuchten Magnesitlagerstätten/-vorkommen

Probe-Lokalität			Koord. Gauss Krüger		Min	RG	δ ²⁵ Mg	δ ²⁶ Mg	δ ¹⁸ O	δ ¹³ C
			x	y			DSM-3	DSM-3	VPDB	VPDP
HOHENTAUERN/SUNK: Magnesitbezirk Veitscher Decke										
H7-1	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	D	W	-0.34	-0.58	-16.18	0.21
H7-2	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	D	W	-0.28	-0.45	-15.75	0.74
H7-3M	li Bachseite	Niv. XV	5257439	85323	SM	I	-0.32	-0.64	–	–
H7-3MD	li Bachseite	Niv. XV	5257439	85323	SM	I	-0.48	-0.88	-17.82	0.36
H7-3MD	li Bachseite	Niv. XV	5257439	85323	SM	I	-0.48	-0.88	-17.82	0.36
H8	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	SM	I	-0.34	-0.62	-19.09	0.21
H8F	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	SM	I	-0.34	-0.64	-18.72	0.25
H9	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	SM	I	-0.30	-0.68	-18.75	0.30
H11	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	SM	I	-0.36	-0.63	-19.42	0.10
H14-1D	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	D	KD	-0.43	-0.75	-14.41	-0.15
H14-2D	re Bachseite	Niv. XIV	5257426	85515	D	KD	-0.37	-0.65	-13.82	0.78
HOCHFILZEN: Magnesitbez. Tir.-Nor. Deckensyt. Wildseeloder Einheit										
hof-01	Weissenstein Etage 11		5254410	-57936	D	W	-0.67	-1.22	-6.07	0.28
hof-02	Weissenstein Etage 5		5254390	-57936	D	W	-0.38	-0.67	-9.67	8.32
hof-9	Bürgl Sohle 3		5254624	-55721	SM	I	-0.66	-1.26	-9.68	0.54
hof-10	Bürgl Sohle 1		5254619	-55495	SM	I	-0.55	-1.04	-10.51	1.36
hof-11M	Bürgl/Sohle 1 Bohrung		5254605	-55495	SM	I	0.62	-1.21	-12.77	1.32
hof-11D	Bürgl/Sohle 1 Bohrung		5254605	-55495	D	W	-0.69	-1.28	-10.84	2.12
hof-12M	Inschlagalm Tagebau		5254440	-50370	SM	I	-0.81	-1.54	-10.55	0.38
hof-12D	Inschlagalm Tagebau		5254440	-50370	D	W	-0.54	-0.97	-12.00	0.30
BREITENAU: Magnesitbez. Grazer Paläozoikum										
P-Br1	Grube Horizont XII		5249700	-67600	SM	I	-0.48	-0.93	-14.66	1.04
P13	Grube Revier VI		5249700	-67600	SM	I	-0.48	-0.88	-15.11	1.39
P16M	Grube Revier VI		5249700	-67600	SM	I	-0.37	-0.72	-15.24	1.63
P16D	Grube Revier VI		5249700	-67600	D	W	-0.04	-0.05	-15.30	1.79
P22a	Grube Revier V		5249700	-67600	D	W	-0.03	0.05	-15.47	1.98
P24D	Grube Revier V		5249700	-67600	D	W	-0.09	-0.13	-15.55	2.28
RADENTHEIN/MILLSTÄTTER ALPE: Koralpe Wölz Deckensystem										
R4-1	Grube S-Feld, Sohle 7		5190000	23000	D	W	-1.08	-2.02	-8.22	1.97
R4-3	Grube S-Feld, Sohle 7		5190000	23000	SM	I	-0.38	-0.84	-18.38	-1.07
P5-1	Grube S-Feld, Sohle 8		5190000	23000	D	W	-0.67	-1.21	-15.54	0.23
R5-2.1	Grube S-Feld, Sohle 8		5190000	23000	SM	I	-0.36	-0.70	–	–
R5-2.2	Grube S-Feld, Sohle 8		5190000	23000	SM	I	-0.28	-0.49	-16.73	-1.26
R5-2.3	Grube S-Feld, Sohle 8		5190000	23000	SM	I	-0.31	-0.58	-18.13	-1.57
KASWASSERGRABEN: Evaporitbez. Permoskyth Tir.-Nor., Bajuv. Juv. Deckensystem										
Kas-1	ehem. Gipsabbau		5278300	102000	SM	I	-0.65	-1.27	-7.28	2.02
Kas-2	ehem. Gipsabbau		5278300	102000	SM	I	-0.74	-1.37	-6.29	2.11
KRAUBATH: Magnesit-Chromit-Asbestbez. Silvretta Seckau Deckensystem										
Au5	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-1.29	-2.53	–	–
Au 31 M	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-0.99	-1.93	-4.03	13.98
Au 33	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-1.00	-1.96	-4.70	-14.82
Au 45	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-1.32	-2.54	–	–
Au 47	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-1.45	-2.88	-3.50	-13.13
P-1	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-1.32	-2.55	-3.06	-13.27
P-LU 2D	Augraben		5239600	-105400	KM	I	-1.11	-2.15	-5.76	-12.05

Min Mineral: D Dolomit, SM Spatmagnetit, KM Kryptokristalliner Magnetit; RG Rohstoffgruppe: W Wirtsgestein, I Industrie-mineral, KD kluftförmiger hydrothermaler Dolomit (Kokardendolomit).

TABELLE 2

Außerösterreichisches Vergleichsmaterial

Vorkommen	$\delta^{25}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$	$\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$
Bela Stena/Serbien				
bs-1	-0.22	-0.42	4.67	-0.41
bs-2	-0.55	-1.07	5.25	2.67
bs-5	-0.34	-0.65	4.38	1.93
bs-6	-0.49	-0.90	5.34	2.65
Bushveld/Südafrika				
Bushv-1	-0.95	-1.80	2.42	1.43
Poldasht/NW Iran				
Pol-1	-0.21	-0.42	-6.15	-0.94
Pol-3	0.31	0.65	-5.00	1.51
Pol-4	0.51	1.01	n.b.	n.b.
Pol-5	-0.53	-1.04	-6.79	-0.14

3.5 Kaswassergraben

Das Vorkommen liegt in triassischen (Anis) Kalk-/Dolomitgesteinen. Der gelblich bis hellbraun gefärbte Magnesit zeigt cm-große Kristalle und ist mit Fluorit, Bleiglanz und Zinkblende assoziiert [12]. Die Magnesitbildung erfolgte, abgeleitet aus Einschlussfluiden in den begleitenden Dolomiten, möglicherweise unter evaporitischer Beeinflussung („Salinarmagnesit“) [12, 13].

- Magnesit (grobkristallin): Kas-1, Kas-2

3.6 Kraubath

Der kryptokristalline, reinweisse Magnesit ist an Gang- und Netzwerkstrukturen des Kraubather Serpentinikörpers gebunden. Für seine Bildung waren Lösungs- und Anreicherungsprozesse durch descendente CO_2 -reiche Wässer verantwortlich, die entlang von Störungszonen im Serpentinikörper zirkulierten [14].

Proben:

- Rein weisser, kryptokristalliner Magnesit (Au5, Au31M, Au33, Au45, Au47, P1, LU2D).

3.7 Außerösterreichisches Vergleichsmaterial (Tab. 2)

3.7.1 Bela Stena/Serbien

Die Proben stammen aus dem stillgelegten Tagebau Bela Stena (70 km S Kraljevo/Serbien), der im von Ophiolithgesteinen umrandeten miozänen Jarandolbecken liegt. Der feinstkörnige, weiße, lakustrine Fossilien führende Magnesit weist Sedimentstrukturen, wie Lamination, intraformationelle Brekzien und Trockenrisse auf, die auf episodisches Trockenfallen des Ablagerungsraums deuten. Die Magnesitbildung erfolgte im lakustrinen Milieu durch chemische

Interaktion des Seewassers mit an Mg-angereicherten, aus dem Ophiolithbereich stammenden Wässern [15, 16].

Proben:

- Dichter, reinweisser Magnesit: bs-1, bs-2, bs-5, bs-6.

3.7.2 Bushveld/Südafrika; aufgelassener Magnesitbergbau am Olifant River

Weißer, kryptokristalliner Magnesit vom „Kraubath-Typ“ tritt in Linsen, Gängen und Netzwerken im Harzburgit des altpaläozoischen Bushveld-Komplexes auf. Genetisch wird er auf Reaktionen des Gesteins mit einem CO_2 -reichen Fluid bei niedrigen Temperaturen zurückgeführt (Exkursionsbericht 2016, MUL, Lehrst. Geol. Lagerstättenlehre).

Probe:

- rein weisser. Kryptokristalliner Magnesit: Bushv-1.

3.7.3 Poldasht/NW-Iran

Der kryptokristalline, rein weiße, kiedrig ausgebildete Magnesit ist rezenten und holozänen Alters. Die max. 15 m mächtigen Magnesitsedimente wurden/werden in evaporierenden Playabecken abgeschieden, die direkt quartären Basalten aufliegen, von denen auch das für die Magnesitbildung erforderliche Mg bezogen wird [16, 17].

- Magnesit: Pol-1, Pol-3, Pol-4, Pol-5

4. Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Proben sind Beispiele aus global wichtigen Typen von Magnesitlagerstätten [15, 18]. Die $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte (in‰) dieser Magnesite (Tab. 1 und 2) bilden folgende für die einzelnen Lagerstättentypen charakteristischen Cluster (Abb. 4):

- *Kraubath-Typ*: -2,88‰ bis -1,80‰
- *Veitsch-Typ*: -1,54‰ bis -0,49‰

- *Bela Stena-Typ*: $-1,07\text{‰}$ bis $-0,42\text{‰}$
- *Poldasht-Typ*: $-1,04\text{‰}$ bis $+1,01\text{‰}$.

Die $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte ($-1,54$ bis $-0,49\text{‰}$) der alpinen Spatmagnesite (Veitsch-Typ und Kaswassergraben) mit einer Schwankungsbreite von $1,05\text{‰}$ entsprechen dem durch den chinesischen Spatmagnet vorgegebenen Rahmen [2]. Die geringe Anzahl der untersuchten Proben lässt aber offen, ob für die einzelnen Lagerstätten, die unterschiedlichen Lagerstättenbezirken angehören, signifikantere Gruppierungen der $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte erwartet werden können (Abb. 1). Unklar ist auch, ob unterschiedliche Temperaturen bei der Metasomatose zu Gruppenbildungen führen können. Eventuell sind dazu aber aus der Kombination der Untersuchungen der Mg-Isotopie mit der O, C-Clumped Isotopie [19] wesentliche Erkenntnisse zu erwarten.

Generell lassen Prozesse der Metasomatose Gruppierungen der $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte erwarten, die im isotopisch schweren Bereich diagenetisch gebildeter mariner Dolomite/Kalke ansetzen [2, 20] und darüber hinaus bis in Bereiche um $-0,49\text{‰}$ führen (Abb. 1 und 4). Ein interessantes Phäno-

men sind Mg-isotopisch schwere Dolomite, die vermutlich im Zuge der Metasomatose gebildet wurden (Abb. 5).

Kryptokristalliner Magnesit (Kraubath-, Bela Stena- und Poldasht-Typ) zeigt individuelle Gruppierungen der $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte, die entweder auf prozessbezogene Fraktionierungen bei der Mg-Mobilisation aus dem Umgebungsgestein oder bei der Magnesitausfällung zurückzuführen sind. Sichtbar wird das bei den untersuchten Proben des Kraubath- und Bela Stena-Typs (Abb. 4). Beide beziehen das Mg für die Magnesitbildung aus Serpentin ($\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte um $-0,20\text{‰}$) [21]. Der beprobte Magnesit beider Lokalitäten liegt aber in zwei deutlich getrennten Bereichen (Abb. 4). Der Magnesit aus dem Bushveldkomplex liegt durchaus im Wertebereich des Kraubath Magnesits. Für die österreichische Isotopendatenbank zu untersuchen wäre, da noch unbekannt, außerdem die Mg-Isotopie im Magnesitbezirk des Gföhl Deckensystems – Dunkelsteiner Wald, wo der Magnesit in ultrabasischen Mantelschuppen in krustalen Gneisen situiert ist.

Die $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte des Bela Stena-Typs überlappen in einem kleinen Bereich mit dem Poldasht-Typ. Letzterer

Abb. 4: $\delta^{26}\text{Mg}$ -Werte in Magnesit der untersuchten Proben, Typisierung der global wichtigen Magnesit-Typen und Position der untersuchten österreichischen Magnesite. Die Daten für die Wirtsgesteine sind zum Großteil der Literatur [2, 20] entnommen

Abb. 5: Im dunkelgrauen Dolomit der Breitenau (P16D) auf-sprossender Spatmagnet (P16M). **a** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, **b** anpolierte Gesteinsoberfläche. Bemerkenswert ist der Mg-isotopisch schwere Dolomit im unmittelbaren Nahbereich des metasomatisch gebildeten Magnesits

zeigt bei einer relativ großen Streuung seiner $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Werte (von $-1,01$ bis $+1,04\%$) ebenfalls nicht mehr die Isotopencharakteristik seines Mg-reichen, basaltischen Umgebungsgesteins. Dieses Ergebnis wird damit erklärt, dass es bei der fortschreitenden Evaporation hochmineralisierter alkalischer Wässer in Playa-Becken bei der Abscheidung des Magnesits zu einer Rayleigh-Isotopenfraktionierung kommen kann, bei der zuerst die leichten Mg-Isotope verbraucht und im Magnesit eingebaut werden und dadurch die schwereren Isotope im Playawasser relativ dazu angereichert werden. Folglich bildet sich im fortschreitenden Prozess der Magnesitbildung aus dem an schwereren Mg-Isotopen angereicherten, verbleibenden Wasser Magnesit mit einer „schwereren“ Isotopie, die bis in den positiven $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$ -Wertebereich hineinreichen kann [17].

Die untersuchten Beispiele zeigen, dass Mg-Isotope hervorragend Einblicke in die Magnesit-Bildungsprozesse ermöglichen. Bei metasomatisch gebildetem Spatmagnesit sind aus der Kombination mit der O-, C- „Clumped“ Isotopie [19] Informationen über die Bildungstemperaturen zu erwarten. Unbekannte und innovative Aspekte eröffnen auch die mit Spatmagnesit auftretenden Mg-isotopisch schweren Dolomite (Abb. 5).

Danksagung. Die Finanzierung des Projektes erfolgte im Rahmen der GBA Forschungspartnerschaft „Grundlagenorientierte Mineralrohstoffforschung“ in enger Synergie mit dem durch die Dr. Emil Suess Erbschaft der ÖAW geförderten Projekt „Magnesit im Verband mit Basalt“, in dem der Poldasht-Magnesit gemeinsam mit Masoud Ovissi (Arinzamin Research Institut/Teheran) bearbeitet wurde. Für die Laboruntersuchungen standen Einrichtungen der TU-Graz (NAWI Zentrallabor für Wasser, Gesteine und Minerale) und der MU Leoben (Department für Angewandte Geowissenschaften) zur Verfügung.

Funding. Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- Rantitsch, G.; Russegger, B.: Statistische Auswertung und Visualisierung der Isotopendaten österreichischer Rohstoffvorkommen, unveröff. Ber., Wien, Geowiss. Zentrum ÖAW, 2009, 17 S
- Dong, A.; Zhu X.K.; Li, S.Z.; Kendall, B.; Wang, Y.; Goa, Z.: Genesis of a giant Paleoproterozoic strata-bound magnesite deposit: Constraints from Mg isotopes, *Precambrian Research*, 281 (2016), pp 673–683
- Wombacher, A.E.; Häusler, A.; Weyer, S.: Separation of Mg, Ca and Fe from geological reference materials for stable isotope ratio analyses by MC-ICP-MS and double-spike TIMS, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 24 (2009), pp 627–636
- Weber, L. (Hrsg.): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs, Archiv für Lagerstättenforschung, 19 (1997)
- IRIS Online – Interaktives Rohstoffinformationssystem, <https://www.geologie.ac.at/services/webapplikationen/iris-interaktives-rohstoffinformationssystem> (10.11.2018).
- Azim-Zadeh, A.; Ebner, F.; Jiang, S.-Y.: Mineralogical, geochemical, fluid inclusion and isotope study of Hohentauern/Sunk sparry magnesite deposit (Eastern Alps/Austria): implications for a metasomatic genetic model, *Mineralogy and Petrology*, 109 (2015), pp 555–575
- Mavridis, A.; Mostler, H.: Zur Geologie der Umgebung des Spielberghorns mit einem Beitrag über die Magnesitvererzung, Innsbruck: Festband des Geologischen Institutes anlässlich der 300 Jahrfeier der Universität Innsbruck, 1970, S. 523–546
- Morteani, G.: Mg-metasomatic type sparry magnesites of Entachen Alm, Hochfilzen/Bürglkopf and Spießnägels (Austria), *Monograph Series on Mineral Deposits*, 28 (1989), S. 105–114
- Gallhofer, D.: Lithologische und geochemische Charakterisierung der Magnesitlagerstätte Breitenau (Grazer Paläozoikum/Ostalpen).- Masterarbeit, Leoben, Montanuniv., 2010
- Henjes-Kunst, F.; Prochaska, W.; Niedermayr, A.; Sullivan, N.; Baxter, E.: Sm–Nd dating of hydrothermal carbonate formation: An example from the Breitenau magnesite deposit (Styria, Austria), *Chemical geology*, 387 (2014), pp 184–201
- Tufar, W.: Magnesitlagerstätte Radenthein, in Weber, L. (Ed.): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs, Archiv für Lagerstättenforschung, 19 (1997), S. 314
- Prochaska, W.: Die Bedeutung der chemischen Zusammensetzung von Einschlussfluiden und laugbaren Salzen für die Genese von hydrothermalen und sedimentären Karbonatgesteinen der Ostalpen, *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 90 (1999), S. 175–183
- Götzinger, M.: Mineralisationen in den Gutensteiner Schichten (Anis) in Ostösterreich – Ein Überblick, *Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt*, 6 (1995), S. 183–192
- Thalhammer, O.R.; Ebner, F.; Horkel, K.; Mali, H.: Der Ultramafit-Komplex von Kraubath, *Journal of Alpine Geology*, 53 (2010), S. 137–158
- Pohl, W.L.: *Economic Geology, Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons – an Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral Deposits*, Oxford: Wiley-Blackwell, 2015
- Ebner, F.; Dietzel, M.; Hippler, D.; Mali, H.: Mg-Isotopie in Magnesiten – eine Pilotstudie für den Lagerstätten-Isotopenkatalog Österreichs, unveröff. Bericht Grundlagenorientierte Mineralrohstoffforschung, Wien, GBA, 2018
- Ebner, F.; Mali, H.; Ovissi, M.; Ghorbani, M.; Hippler, D.; Dietzel, M.: The Poldasht magnesite (W Asserbaijan, NW Iran) – a new type of magnesite deposit, *Geologica Balcanica*, XXI. International Congress of the CBGA, Salzburg (Austria), Sept. 10–13, 2018, Abstracts (2018), p 267
- Ebner, F.; Wilson, I.: Magnesit – globales Potenzial und geologische Lagerstättencharakteristik, *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 151 (2006), S.164–174
- Eiler, J.M.: „Clumped-isotope“ geochemistry – The study of naturally-occurring, multiply-substituted isotopologues, *Earth and Planetary Science Letters*, 262 (2007), pp. 309–327
- Hoefs, J.: *Stable Isotope Geochemistry*, 7th ed., Heidelberg/London: Springer, 2015
- Teng, F.-Z.: Magnesium Isotope Geochemistry, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 82 (2017), pp 219–287