

MINERAL DES JAHRES 2021: WULFENIT

Robert Krickl

Alexander Groß Gasse 42, A-2345 Brunn/Geb.

email: mail@r-krickl.com

Abstract

Wulfenite PbMoO_4 (tetragonal) was elected *Mineral of the Year 2020* in Austria, but because of restrictions due to COVID19, its period was extended to 2021. This article gives an overview on selected historical, scientific and economic aspects of this mineral.

Einleitung

Bereits etabliert sind die umfangreichen Aktionen zum *Mineral des Jahres* in Österreich, an dessen Wahl auch die *Österreichische Mineralogische Gesellschaft (ÖMG)* beteiligt ist (vgl. KRICKL, 2020a). Für 2020 auserkoren wurde das Mineral Wulfenit PbMoO_4 (tetragonal), mit sehr starkem nationalen Bezug, dessen

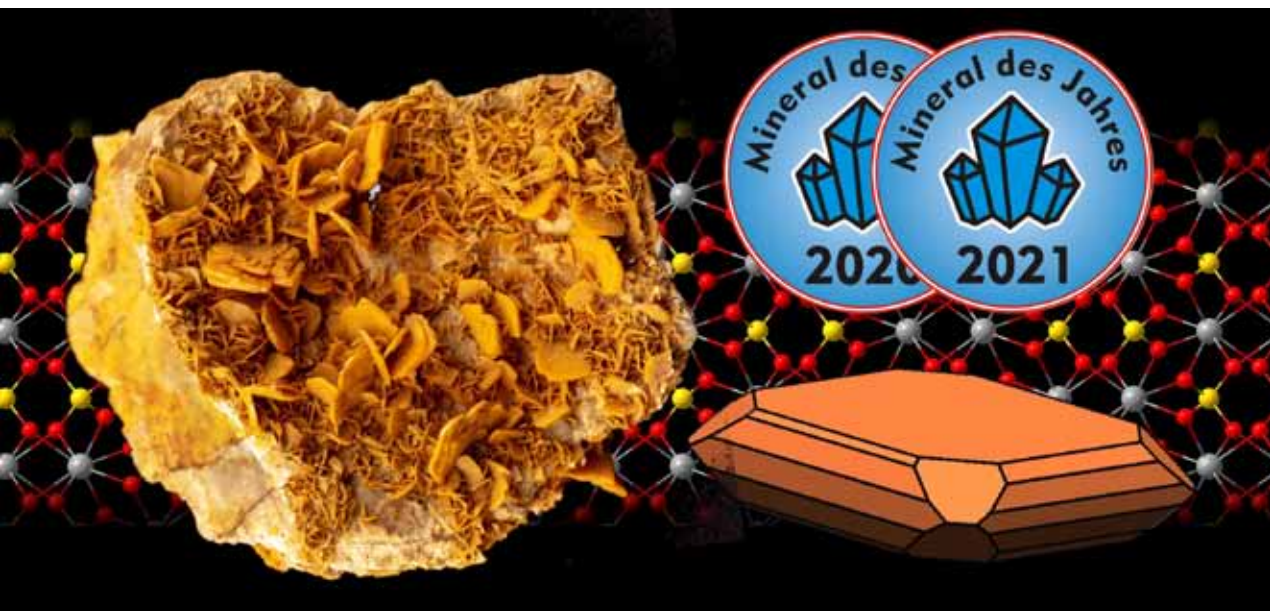


Abb.1: Ein Beispiel für das „Mineral des Jahres 2020+2021“ Wulfenit von der offiziellen Typlokalität der Spezies in Bad Bleiberg (Größe ca. 5 cm), nebst Darstellung der Kristallstruktur und Kristallmodell.

Namensgebung sich in jenem Jahr zum 175. Mal jährte (siehe S.57). Da die COVID19-Pandemie eine Durchführung der meisten geplanten Veranstaltungen unmöglich machte, wurde die „Amtszeit“ des Wulfenits verlängert und auf 2021 ausgedehnt. Der vorliegende Beitrag verfolgt das Ziel dieses interessante Mineral kurz, in eher populärer Manier vorzustellen und dabei speziell Bezüge zur ÖMG und ihren Mitgliedern darzustellen; er erhebt explizit keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll einen Überblick geben, der mittels ein paar vielleicht weniger bekannten Fakten Interesse weckt, sich weiter mit dieser spannenden Spezies zu beschäftigen.

Mineralogie & Kristallographie

Drei chemische Elemente bauen Wulfenit in seiner idealisierten Zusammensetzung auf: Blei, Molybdän und Sauerstoff. Ersteres liegt in seiner häufigsten Oxidationsstufe $2+$ vor und ist von acht Sauerstoff-Atomen koordiniert, Molybdän mit Oxidationsstufe $6+$ ist in Form eines verzerrten Tetraeders von vier Sauerstoff-Atomen umgeben (vgl. Abb.2). Chemisch gesehen kann formal vom Blei-Salz der Molybdänsäure bzw. Blei-Molybdat gesprochen werden. Schon früh in der Geschichte erfolgte eine Zuordnung zum Scheelit-Strukturtyp (vgl. STRUNZ & NICKEL, 2001) und Strukturverfeinerungen ergaben dessen klassische tetragonale Raumgruppe $I4_1/a$ (LECIEJEWICZ, 1965). Jedoch tauchten sowohl durch morphologische (vgl. z.B. JOHNSEN, 1908) als auch chemische, physikalische (Ätzversuche und Nachweis von Piezoelektrizität z.B. HURLBUT, 1955) und röntgenkristallographische Studien zumindest bei einigen Kristallindividuen wiederholt Zweifel bezüglich des Vorliegens einer tatsächlich niedrigeren, nichtzentrosymmetrischen Symmetrie (v.a. $I4$, $I\bar{4}$) auf. Letzteres wurde vornehmlich durch Abweichungen vom idealen Chemiesmus und hieraus resultierenden Ordnungsphänomenen von „verunreinigenden Elementen“ auf der Molybdän-Position (v.a. durch Wolfram; vgl. HIBBS et al., 2000 – widersprechende Befunde von SECCO et al., 2008) oder auf der Blei-Position (v.a. durch Molybdän; vgl. CORA et al., 2011) erklärt.

Wenngleich die gemeinhin für Wulfenit angenommene und makroskopisch in überwiegender Mehrheit beobachtete tetragonal-dipyramidale Kristallklasse $4/m$ generell nur Pinakoid, tetragonale Prismen und tetragonale Dipyramiden als Flächenformen besitzt, so ist die Zahl der beobachteten Flächen unterschiedlicher Indizes sowie Vielfalt in Tracht und Habitus ausgesprochen groß (vgl. Abb.3). Dies

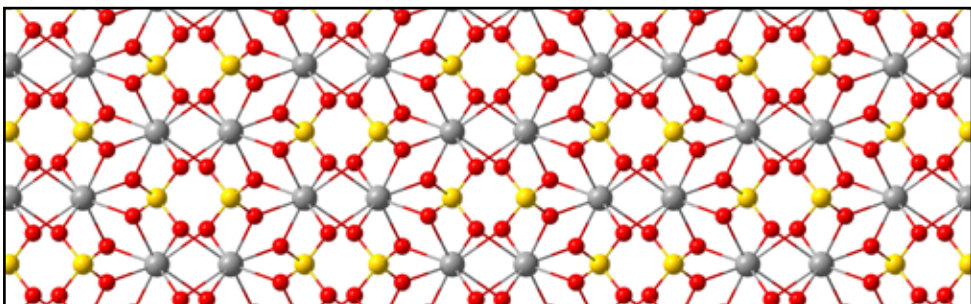


Abb.2: Kugel-Stab-Modell der Kristallstruktur von Wulfenit in Projektion parallel der kristallographischen a -Achse (Daten nach LUGLI et al., 1999). Blei – grau, Molybdän – gelb, Sauerstoff – rot.



Abb.3: Formen- und Farbenvielfalt des Wulfenits anhand von historischen Stücken aus der Sammlung der Geologischen Bundesanstalt. A) Inv. Nr. GBA VI/295 und B.) Inv. Nr. GBA VI/300 aus Příbram (Tschechien), C) Inv. Nr. GBA VI/308 aus Mežica (Slowenien) und D) Inv. Nr. GBA VI/340 aus Maukenöztz (Tirol). Die Länge der größten Kristalle beträgt jeweils ca. 1 cm.

findet Ausdruck etwa darin, dass der für seine Übersichtswerke hochverdiente Kristallograph Victor Mordechai GOLDSCHMIDT in seinem *Index der Krystallformen der Mineralien* Wulfenit unter den „(...)formenreichsten Mineralien der verschiedenen Systeme (...)“ (GOLDSCHMIDT, 1886) anführte und in seinem *Atlas der Krystallformen* nicht weniger als 101 morphologisch unterschiedliche Wulfenit-Kristalle listete (GOLDSCHMIDT, 1923a,b; vgl. hierzu auch Abb.4). Die Ausbildung ist derart vielgestalt, dass Wulfenit von staubigen Anflügen, über nadelige Rasen bis hin zu großen Tafeln oder spitzen (Di)Pyramiden zu finden

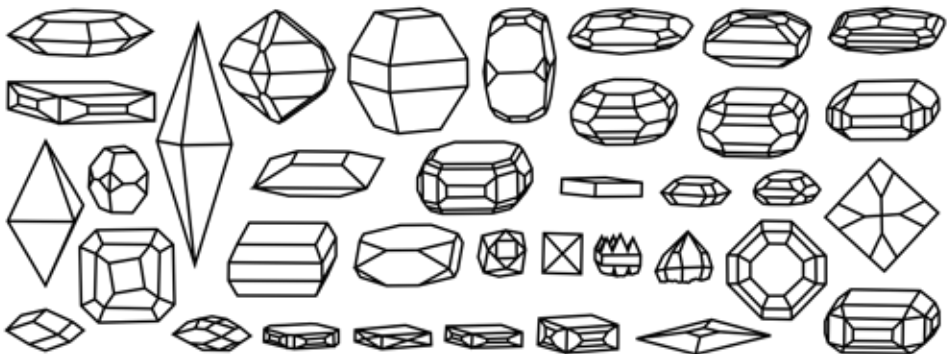
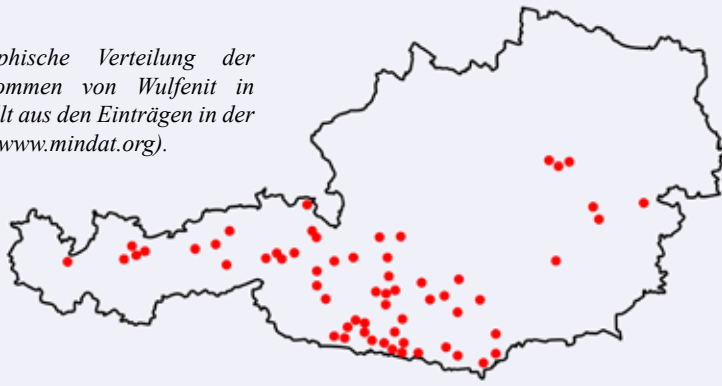


Abb.4: Kleine Auswahl von Kristallbildern nach GOLDSCHMIDT (1923b), welche die morphologische Vielfalt von Wulfenit veranschaulichen.

Abb.5: Geographische Verteilung der bekannten Vorkommen von Wulfenit in Österreich (erstellt aus den Einträgen in der online-Plattform www.mindat.org).



ist. Die Kristalle können dabei erstaunliche Größen bis in den Dezimeter-Bereich erreichen (z.B. NIEDERMAYR, 2008), wobei sogar von Rekordexemplaren von rund 60 cm Größe berichtet wurde (RICKWOOD, 1981). Besonders gefragt sind transparente Exemplare, bei denen der attraktive, sehr hohe Glanz dieses Minerals besonders in Erscheinung tritt. Die meisten sind jedoch durch Verunreinigungen und Einschlüsse undurchsichtig. Obwohl die Farbe aufgrund verschiedener Ursachen prinzipiell sehr stark variieren kann (vgl. Abb.3), liegt die häufigste und bekannteste im Bereich gelb über orange bis rot (ein wesentlicher Faktor hierfür dürften Verunreinigungen durch Chrom darstellen – vgl. TALLA et al., 2013). Dies trug der Mineralart auch die alte deutsche Bezeichnung „Gelbbleierz“ ein. Chemisch rein ist die Verbindung aber farblos und es wurde sogar schon von intensiv blauen Varietäten berichtet (z.B. FRITSCH & ROSSMAN, 1988).

Wulfenit ist ein typisches Sekundärmineral, das durch Prozesse der Oxidation und Ausfällung in Bleilagerstätten entsteht (vgl. z.B. SCHROLL, 1986, 2003). Nicht ausgesprochen selten, ist es heute von vielen Fundorten rund um den Globus bekannt. Hierunter nimmt Österreich (bis auf Wien, Burgenland und Oberösterreich wurden in allen Bundesländern Vorkommen beschrieben, vgl. Abb.5), einen weltweit wichtigen Rang ein – wie im folgenden Abschnitt dargelegt wird.

Entdeckungsgeschichte und Etymologie

Unbestritten liegt die Typlokalität des Minerals Wulfenit in Österreich. Wo genau – darüber scheiden sich noch die Geister. Bezüglich der Erstbeschreibung und damit verbunden der Typlokalität des Wulfenits, währt eine schon Jahrzehnte andauernde Diskussion: Vertreter der „klassischen“ Ansicht, verorten diese im weltweit für seine reichhaltigen Vorkommen und exquisiten Schaustufen des Minerals bekannten Bad Bleiberg in Kärnten – welches diesbezüglich auch in den internationalen Verzeichnissen als *locus typicus* verzeichnet ist (z.B. NIEDERMAYR, 1986, 1989; PAPP, 1993; PRASNIK, 2016). Dies stützt sich in erster Linie auf die erste umfangreiche Beschreibung des Minerals durch den in Kärnten wirkenden Naturforscher Franz Xaver von WULFEN (1781, 1785). Hingegen gibt es eine Reihe von Arbeiten, die auf eine frühere Erstnennung von Fundstücken aus Annaberg im *Lithophylacium Bornianum* des Mineralogen Ignaz von BORN (1772) hinweisen

Abb.6: In Klagenfurt erinnert heute u.a. eine Straße an den Namenspatron des Wulfenits.



und dafür plädieren, diesem historischen Bergbauort in Niederösterreich den Status der Typlokalität einzuräumen (MEIXNER, 1950; HUBER & HUBER, 1980; SCHROLL, 1986; HUBER, 1994; AUER, 1994, 1998). Beide Seiten liefern Indizien für ihre jeweiligen Ansichten auf Basis von Literaturstudien, Sprachanalysen, historischen und aktuellen Sammlungsstücken von den jeweiligen Lokalitäten. Solange das dem jetzigen Kenntnisstand nach verschollene Originalmaterial der BORNschen Sammlung (vgl. PAPP, 1993) nicht auftauchen sollte, bleibt diese Diskussion geisteswissenschaftlicher Natur.

Ungeachtet dessen, sind sowohl die international herausragende Qualität der Kärntner Vorkommen (z.B. PRASNIK, 2016) als auch Franz Xaver von WULFENs wissenschaftliche Verdienste (z.B. KLEMUN, 1989) unbestritten. Speziell in Kärnten ist sein Andenken sehr präsent (vgl. Abb.6). Sogar noch bekannter als in mineralogischen, mag WULFEN in botanischen Kreisen sein, da er einige Pflanzenarten erstmals beschrieb und ihm zu Ehren einige Alpenpflanzen benannt wurden, wie etwa die Wulfen-Hauswurz (*Sempervivum wulfenii*) oder die Gattung der Wulfenien der Wegerichgewächse, unter denen die Kärntner Wulfenie (*Wulfenia carinthiaca*) als eine der berühmtesten endemischen Blumen zur Kärntner Nationalpflanze avancierte (vgl. PODHORSKY, 1933). Das persönliche Herbarium WULFENs, mit einigen Typusexemplaren, wird heute am *Naturhistorischen Museum Wien* aufbewahrt – ebenso wie die Originalzeichnungen der handkolorierten Illustrationen von Wulfenit und anderen Bleimineralen (vgl. NIEDERMAYR, 2008; HAMMER, 2019) aus WULFENs thematisierter Monographie *Abhandlung vom kärnthnerischen Bleyspate* (1785). Nicht zuletzt führte eben jene zur Benennung der hier behandelten Mineralspezies zu seinen Ehren. Der heute gültige Name Wulfenit wurde 1845 durch Wilhelm von HAIDINGER (unter anderem erster Direktor der heute *Geologische Bundesanstalt* genannten Staatsinstitution) in die Literatur eingeführt (vgl. Abb.7). Konkrete etymologische Untersuchungen zum Nachnamen der Familie von Franz Xaver WULFEN sind nicht bekannt, jedoch legen großangelegte Studien zu Zunamen in Deutschland für „Wulfen“, ebenso wie zu



Abb.7: Statue des Mineralogen Wilhelm von Haidinger in der Geologischen Bundesanstalt. Der erste Direktor dieser Institution führte den Namen Wulfenit ein.



Abb.8: Die etymologische Wurzel des Familiennamens WULFEN dürfte beim Europäischen Grauwolf (*Canis lupus*) liegen, woraufhin Wulfenit indirekt nach einem Tier benannt wurde.

gleichlautenden Flur- und Ortsnamen, eine Ableitung von der germanischen Wurzel *wulfa für *Wolf* nahe (BOCHENEK & DRÄGER, 2010). Als wahrscheinlich einzige zur fraglichen Zeit im betreffenden geographischen Raum heimische Art mit dieser Bezeichnung, kommt der Grauwolf (*Canis lupus*) in Frage (siehe Abb.8). Somit reiht sich Wulfenit in die Gruppe von Mineralen, welche indirekt nach Tieren benannt sind (KRICKL, 2010) – passend zu einer aktuell im *Naturhistorischen Museum Wien* gezeigten Ausstellung.

Forschung und Anwendungen

Historisch war Wulfenit in manchen Regionen ein wichtiges Erz zur Gewinnung von zunächst Blei und später Molybdän. Beides traf auch auf Österreich zu, wo speziell zur Zeit der Weltkriege die Abbaue in Kärnten und Tirol (z.B. PETAR, 1932; SIMON & HANNEBERG, 2006; HANNEBERG et al., 2009) stark forciert wurden. Hier ist der Abbau schon lange nicht mehr wirtschaftlich und auch weltwirtschaftlich hat Wulfenit seine Bedeutung als Erzmineral weitgehend verloren (Walter L. POHL pers. Komm.), wengleich aufgrund des zunehmenden Bedarfs an dem strategischen Metall Molybdän wieder Interesse entfacht (z.B. XIE et al., 2019). Molybdän ist ein Metall mit vielen vorteilhaften Eigenschaften, das heute beispielsweise als entscheidender Bestandteil von Röntgenapparaten oder Lampen, als wichtiger Legierungspartner in Stahl z.B. für Werkzeuge etc. aus unserem Alltag nicht wegzudenken ist. Auch „verunreinigende Fremdelemente“ können in Wulfenit in so hohem Maße angereichert sein (bzw. in engst verwachsenen Phasen vorliegen), dass sie wirtschaftliches Interesse erweckten. Beispielsweise wurde in Arizona (USA) von 1935 bis 1944 kommerziell Vanadium aus vorwiegend Wulfenit-haltigen Erzen gewonnen, die auch Gold und Silber enthielten (BUSCH, 1961). Der bekannte Gehalt an Vanadium in Wulfenit aus Kärnten, löste auch im Österreich der Zwischenkriegszeit öffentliche Spekulationen über einen möglichen Abbau auf dieses Element aus – interessanterweise z.B. auch konkret für die Anwendung in Medikamenten gegen Syphilis (N.N., 1922).

Abb.9: Ein Wulfenit-Kristall bildet seit 1986 das Emblem der *Mitteilungen der ÖMG*.

Wegen seiner ansprechenden Farbe und seines hohen Glanzes wurde Wulfenit mitunter als Schmuckstein verschliffen – wenngleich aufgrund seiner hierfür abträglich geringen Härte (ca. 3 nach MOHS) nur selten. Ebenfalls selten war die Verwendung des mineralischen Pulvers als Pigment

in der Antike (z.B. HOLAKOOEI et al., 2016). Weitere Verbreitung fanden synthetische Analoga in Form des chemisch verwandten Molybdatrots bzw. -orange als Farbmittel im 20. Jahrhundert (z.B. zum Färben von Kunststoff). Mittels der Czochralsky-Methode synthetisch hergestellte Bleimolybdat-Einkristalle gelten als eines der effizientesten Materialien für akustooptische Modulatoren und wurden in optoelektronischen, photokatalysatorischen und Hochspannungs-Messvorrichtungen eingesetzt (z.B. KHAN et al., 2020). Auch bezüglich des Einsatzes für Raman-Laser zeigen sie sehr günstige Eigenschaften (z.B. FRANK et al., 2020). In der geo- und materialwissenschaftlichen sowie gemmologischen Forschung spielt Wulfenit an österreichischen Universitäten und Forschungseinrichtungen bis heute eine Rolle (exemplarisch sei TALLA et. al, 2013 genannt). Der Österreichbezug hat nicht zuletzt auch darin Ausdruck gefunden, dass ein gezeichneter Wulfenit-Kristall das Emblem der *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft* bildet (siehe Abb.9; eine ausführliche Beschreibung liefert KRICKL, 2020b).



Aktionen rund um das Mineral des Jahres

Es ist eine große Freude zu vermelden, dass das *Mineral des Jahres* mittlerweile auch in der offiziellen Liste der *Natur des Jahres* des *Naturschutzbundes* kommuniziert wird. So war nicht nur in Zeitschriften und Zeitungen vielfach über Wulfenit zu lesen, sondern auch auf digitalen Infoscreens im öffentlichen Raum.

Aufgrund der COVID19-Pandemie konnten nur sehr wenige der geplanten Aktivitäten rund um das *Mineral des Jahres* durchgeführt werden. Nur ein paar Tage vor dem – damals nicht in der Form absehbaren – ersten nationalen Lockdown im März 2020 wurde die Wanderausstellung (siehe Abb.10) und die Sonderbriefmarke (siehe Abb.11) zu diesem Thema in bereits bewährter Tradition bei den *Mineralientagen & Geoforum* in Brunn am Gebirge präsentiert. Hier freute man sich noch über zahlreiches interessiertes Publikum, rege Berichterstattung in Zeitungen und Fernsehen. Weitere bereits organisierte Ausstellungen bei anderen Mineralienbörsen sowie Vorträge und Ausgaben der Sonderbriefmarken waren daraufhin aber im gesamten Jahresverlauf nicht mehr möglich und mussten abgesagt werden. In der Zeit der Kontaktbeschränkung wurden die neuen Möglichkeiten der Online-Kommunikation genutzt – wobei neben Videokonferenzen bzw. Webinaren



Abb.10: Ausstellungen zum Mineral des Jahres 2020+21 bei den Mineralientagen & Geoforum Brunn am Gebirge (links), im Mineralienzentrum Steinstadel (Mitte) und an der Geologischen Bundesanstalt (rechts).

zu dieser Thematik vor allem eine „virtuelle Ausstellung“ des *Naturhistorischen Museums Wien* zu erwähnen sei (HAMMER, 2020). So konnten zahlreiche Unikate und Kostbarkeiten präsentiert werden – wie Typmaterial aus WULFENs botanischer Sammlung oder Originalzeichnungen zu seiner Monographie der Kärntner Bleiminerale (vgl. S.56). Als im Jahr 2021 wieder Öffnungen möglich wurden, richteten manche Institutionen in ihren Ausstellungen Sondervitrinen zum *Mineral des Jahres* ein. Als Beispiele finden sich jene im sehenswerten *Mineralienzentrum Steinstadel* in Aggsbach-Dorf (Wachau) und in der ehrwürdigen *Geologischen Bundesanstalt* in Wien abgebildet (siehe Abb.10). Zu sehen war hier jeweils auch ein Kristallmodell des Wulfenits, welcher das Emblem der *Mitteilungen der ÖMG* bildet (vgl. KRICKL, 2020b). Dessen Netz wurde als Bausatz in der letzten Ausgabe als erstes Zusatzmaterial des neu eingeführten Kapitels „Extras“ allgemein zur Verfügung gestellt (KRICKL, 2020c). Dies wird heuer durch ein weiteres Netz eines ebenfalls historisch bedeutsamen Wulfenit-Kristalls ergänzt (KRICKL, 2021). Weiters werden in der heurigen Ausgabe eigens Fotos historischer Wulfenit-Stufen im neuen Kapitel „Fotodokumentation österreichischer Mineralfunde“ veröffentlicht (siehe S.187). Weitere Aktionen werden noch im Jahr 2021 folgen, wie etwa die Emission einer neuen Wulfenit-Sonderbriefmarke auf attraktivem Ersttagsbeleg am Tag von Franz Xaver von WULFENs Geburtstag am 5. November. Über diese und weitere Aktivitäten sowie Hintergründe zum Mineral informiert die Webseite www.mineraldesjahres.at.



Abb.11: Sonderkuvert mit Briefmarke zum Mineral des Jahres 2020. Im Jahr 2021 wird noch eine eigene Marke mit attraktivem Ersttagsbeleg im November ausgegeben.

Literatur

- AUER, C. (1998): The Annaberg District, Lower Austria. – *Mineralogical Record*, 29, 177-189.
- AUER, C. (1994): Spektakuläre Neufunde aus Annaberg – Die Wiederentdeckung einer klassischen Fundstelle in Niederösterreich. – *LAPIS*, 19(2), 13-20.

- BOCHENEK, C., DRÄGER, K. (2010): Deutscher Familiennamenatlas Band 1 – Graphematik/Phonologie der Familiennamen I: Vokalismus. 919p., De Gruyter, Berlin u.a.
- BORN, I. (1772): Lithophylacium Bornianum. 157p., Wolfgang Gerle, Prag.
- BUSCH, P.M. (1961): Vanadium, a materials survey. 95p., U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington.
- CORA, I., CZUGLER, M., DÓDONY, I., REČNIK, A. (2011): On the symmetry of wulfenite (Pb[MoO₄]) from Mežica (Slovenia). – *Acta Crystallographica*, C67, i33-i35.
- FRANK, M., SMETANIN, S.N., JELÍNEK, M., VYHLÍDAL, D., SHUKSHIN, V.E., ZVEREV, P.G., KUBEČEK, V. (2020): Highly efficient, high-energy, picosecond, synchronously pumped Raman laser at 1171 and 1217 nm based on PbMoO₄ crystals with single and combined Raman shifts. – *Optics Express*, 28(26/21), 39944-39955.
- FRITSCH, E., ROSSMAN, G.R. (1988): An update on color in gems. Part 3: Colors caused by band gaps and physical phenomena. – *Gems & Gemology*, 24(2), 81-102.
- GOLDSCHMIDT, V. (1886): Index der Krystallformen der Mineralien – Erster Band. 601p., Springer, Berlin u.a.
- GOLDSCHMIDT, V. (1923a): Atlas der Krystallformen – Text Band IX. Trechmannit – Zoisit und Nachträge. 192p., Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.
- GOLDSCHMIDT, V. (1923b): Atlas der Krystallformen – Tafeln Band IX. Trechmannit – Zoisit und Nachträge. 128p., Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.
- HAMMER, V.M.F. (2019): The Austrian Mineral Wulfenite – Special Exhibition at the TGMS 2019. – *The Mineral Observer, Mineralogical Almanac*, 24(2), 90-91.
- HAMMER, V.M.F. (2020): Mineral des Jahres 2020 – Der Wulfenit. Online: https://www.nhm-wien.ac.at/forschung/mineralogie__petrographie/mineral_des_jahres
- HANNEBERG, A., SIMON, P., WOLKERSDORFER, C. (2009): Galmei und schöne Wulfenite: Der Blei-Zink-Bergbau rund um den Fernpaß in Tirol. – *LAPIS*, 4/2009, 21-31.
- HIBBS, D.E., JURY, C.M., LEVERETT, P., PLIMER, I.R., WILLIAMS, P.A. (2000): An explanation for the origin of hemihedrism in wulfenite: The single-crystal structures of *I*4₁/*a* and *I*4 tungstenian wulfenites. – *Mineralogical Magazine*, 64(6), 1057-1062.
- HOLAKOOEI, P., KARIMY, A.H., HASANPOUR, A., OUSBASHI, O. (2016): Micro-Raman spectroscopy in the identification of wulfenite and vanadinite in a Sasanian painted stucco fragment of the Ghaleh Guri in Ramavand, western Iran. – *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 169, 169-174.
- HUBER, S., HUBER, P. (1980): Wulfenit aus Annaberg, NÖ. – *Die Eisenblüte*, NF. 1(2), 21-25.

- HUBER, P. (1994): Annaberg oder Bleiberg? Zur Typlokalität des Wulfenits. – LAPIS, 19(2), 21-24.
- HURLBUT, C.S. (1955): Wulfenite symmetry as shown on crystals from Jugoslavia. – American Mineralogist, 40(9-10). 857-860.
- JOHNSEN, A. (1908): Zur Symmetrie des Wulfenit. – Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 1908, 712-715.
- KHAN, A., ARYAL, P., KIM, H., LEE M.H., KIM, Y. (2020): PbMoO₄ Synthesis from Ancient Lead and Its Single Crystal Growth for Neutrinoless Double Beta Decay Search. – Crystals, 10(3), 150; <https://doi.org/10.3390/cryst10030150>.
- KLEMUN, M. (1989): Franz Xaver Freiherr von WULFEN – Jesuit und Naturforscher. – Carinthia II, 179/99, 5-17.
- KRICKL, R. (2010): Katzensgold und Silberfisch. 256p., Gebrüder Hollinek, Purkersdorf.
- KRICKL, R. (2020a): Das Mineral des Jahres in Österreich und die mitentscheidende Rolle der ÖMG. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 166, 59-61.
- KRICKL, R. (2020b): Die Symbolik und Bildersprache der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft 2: Das Logo der Mitteilungen der ÖMG. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 166, 113-153.
- KRICKL, R. (2020c): Netz des ikonischen Wulfenit-Kristalls der Mitteilungen der ÖMG. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 166, 191-193.
- KRICKL, R. (2021): Körpernetz eines historischen Wulfenit-Kristalls. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 167, 243-246.
- LECIEJEWICZ, J. (1965): A neutron crystallographic investigation of lead molybdenum oxide, PbMoO₄. – Zeitschrift für Kristallographie, 121, 158-164.
- LUGLI, C., MEDICI, L., SACCARDO, D. (1999): Natural wulfenite: structural refinement by single-crystal X-ray diffraction. – Neues Jahrbuch für Mineralogie – Monatshefte, 6, 281-288.
- MEIXNER, H. (1950): Über „Kärtner“ Mineralnamen. – Der Karinthin, 8, 158.
- N.N. (1922): Ueber die Bedeutung des Vanadiums in der Syphilistherapie. Von einem Wiener Arzte. – Neue Freie Presse, 20810, 10.
- NIEDERMAYR, G. (1986): Bleiberg, Carinthia, Austria. – Mineralogical Record, 17, 355-369.
- NIEDERMAYR, G. (1989): Der Wulfenit – ein Kärntner Mineral? – Carinthia II, 179/99, 29-45.

- NIEDERMAYR, G. (2008): Für den Sammler. – *Carinthia II*, 198/118, 275-290.
- PAPP, G. (1993): Ignaz von BORN und der Kärntner Bleispat. – *Carinthia II*, 183/103, 95-108.
- PETAR, A.V. (1932): Molybdenum. U.S. Department of Commerce, Bureau of Mines, Economic Paper 15, 65p., United States Government Printing Office, Washington.
- PODHORSKY, J. (1933): Die Kärntner Wulfenie. – *Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen*, 5, 38-44.
- PRASNIK, H. (2016): Die Wulfenit-Vorkommen Kärntens – Eine Zusammenstellung aus Anlass eines ungewöhnlichen Jubiläums. – *Carinthia II*, 206/126, 141-156.
- RICKWOOD, P.C. (1981): The largest crystals. – *American Mineralogist*, 66, 885-907.
- SCHROLL, E. (1986): Franz Xaver, Freiherr von WULFEN – 200 Jahre Wulfenit. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 131, 121-128.
- SCHROLL, E. (2003): Die Geschichte vom Wulfenit. – *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 64, 69-70.
- SECCO, L., NESTOLA, F., DAL NEGRO, A. (2008): The wulfenite-stolzite series: Centric or acentric structures? – *Mineralogical Magazine*, 72(4), 987-990.
- SIMON, P., HANNEBERG, A. (2006): Zur Geschichte des Blei-Zink-Bergbaus bei Nassereith in Tirol. – *res montanorum*, 39, 66-83.
- STRUNZ, H., NICKEL, E.H. (2001): *Strunz Mineralogical Tables*. 870p., Schweizerbart, Stuttgart.
- TALLA, D., WILDNER, M., BERAN, A., ŠKODA, R., LOSOS, Z. (2013): On the presence of hydrous defects in differently coloured wulfenites (PbMoO₄): an infrared and optical spectroscopic study. – *Physics and Chemistry of Minerals*, 40, 757-769.
- WULFEN, F.X. (1781): *Minera plumbi spatosa carinthiaca*. – 139-273 in JACQUIN, J.J.: *Miscellanea austriaca ad botanicam, chemiam et historiam naturalem spectantia, cum figuris*, Vol. II. 423p., Officina Krausiana, Wien.
- WULFEN, F.X. (1785): *Abhandlung vom kärnthnerischen Bleyspat*. 150p., Johann Paul Krauß, Wien.
- XIE, K., WANG, H., Wang, S. (2019): Direct leaching of molybdenum and lead from lean wulfenite raw ore. – *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 29, 2638-2645.