

## MINERAL DES JAHRES 2022: SPODUMEN

Robert Krickl

Forschungsinstitut Dr. Robert Krickl, Alexander Groß Gasse 42, A-2345 Brunn/Geb.  
email: mail@r-krickl.com

### Abstract

Spodumene  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (monoclinic) was elected *Mineral of the Year 2022* in Austria – a species that currently is of increasing interest, for inter alia being an important ore for the chemical element lithium. This article gives an overview on selected historical, scientific and economic aspects of this mineral.

### Einleitung

In Österreich haben Aktionen für Pflanzen, Tiere und Pilze des Jahres schon lange Tradition, um Aufmerksamkeit für die Vielfalt der heimischen Umwelt zu schaffen. Lange Zeit wurde hier aber praktisch ausschließlich die belebte Natur berücksichtigt – nicht jedoch die unbelebte. Um deren großen Stellenwert in unserer Umwelt, sowie ihre Rolle als wortwörtliche Grundlage von Industrie, Kultur und Wissenschaft darzustellen, wurde die Lücke mit dem *Mineral des Jahres* geschlossen (vgl. KRICKL, 2020b und Abb.1). Gewählt wird es durch eine Arbeitsgemeinschaft, in der die maßgeblichen mineralogischen Institutionen, Museen, Organisationen und Vereine des Landes repräsentiert sind – darunter auch die *Österreichische Mine-*



Abb.1: Ein Beispiel für das „Mineral des Jahres 2022“ Spodumen, nebst der Darstellung der Kristallstruktur und eines Kristallmodells.



Abb.2: Wahlurne der ÖMG für das „Mineral des Jahres 2022“ bei der Tagung MinPet 2021 in Wien (gemäß allen damaligen Hygieneauflagen).

ralogische Gesellschaft (ÖMG). Diese bestimmte ihre letztjährige Stimmabgabe bereits in erprobter Tradition im Zuge einer demokratischen Wahl (siehe Abb.2) unter den Teilnehmer\*innen ihrer Tagung *MinPet* (vgl. KRICKL, 2020a, 2022a). Sehr eindeutig fiel hierbei die Entscheidung auf Spodumen,

welche Spezies sich dann auch insgesamt als *Mineral des Jahres 2022* in Österreich durchsetzen konnte. Der große Zuspruch hatte vielfältige Gründe, welche einmal mehr das breite Spektrum der Mineralogie unterstreichen: sie reichten von den bedeutenden angewandten Aspekten mit größtem Aktualitätsbezug, über die Verwendung als Schmuckstein bis hin zum spannenden Gegenstand der erdwissenschaftlichen Forschung und einem mehrfach starken Bezug zu Österreich. Zu diesen sehr umfangreichen Themen kann der vorliegende Artikel zwar nur punktuell einen groben Überblick liefern, möchte aber damit die Leser\*innenschaft motivieren sich weiter mit diesem interessanten Mineral zu beschäftigen.

### Mineralogie & Kristallographie

Spodumen ist ein natürlich vorkommendes Kettensilikat aus der Gruppe der Pyroxene, welches sich in formaler Reinform aus den chemischen Elementen Lithium, Aluminium, Silicium und Sauerstoff zusammensetzt:  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  (monoklin). Von besonderer Bedeutung ist hierbei die quantitative Besetzung der oktaedrisch koordinierten M2-Position mit dem  $\text{Li}^+$ -Ion (vgl. Abb.3), welcher es

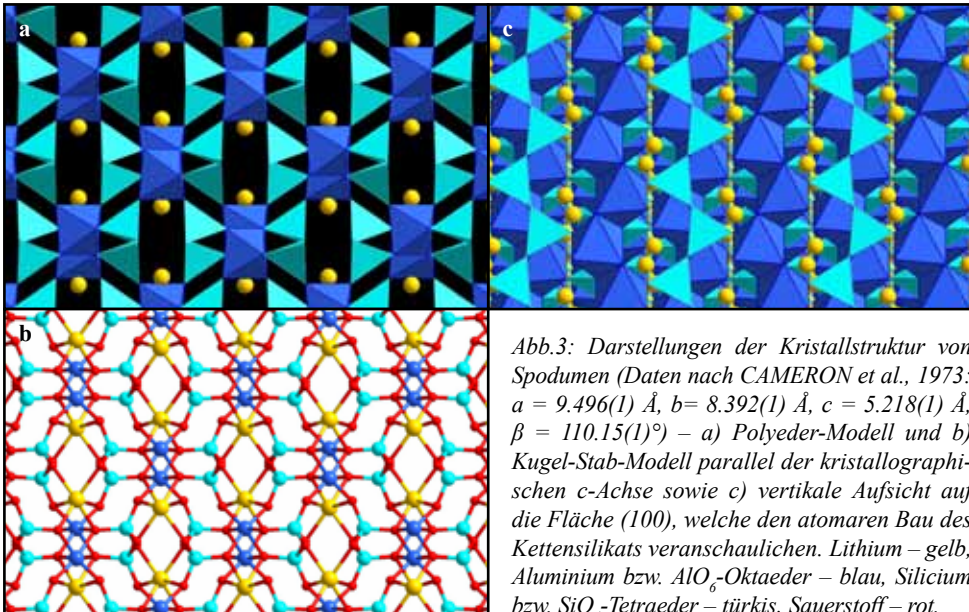


Abb.3: Darstellungen der Kristallstruktur von Spodumen (Daten nach CAMERON et al., 1973:  $a = 9.496(1) \text{ \AA}$ ,  $b = 8.392(1) \text{ \AA}$ ,  $c = 5.218(1) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 110.15(1)^\circ$ ) – a) Polyeder-Modell und b) Kugel-Stab-Modell parallel der kristallographischen  $c$ -Achse sowie c) vertikale Aufsicht auf die Fläche (100), welche den atomaren Bau des Kettensilikats veranschaulichen. Lithium – gelb, Aluminium bzw.  $\text{AlO}_6$ -Oktaeder – blau, Silicium bzw.  $\text{SiO}_4$ -Tetraeder – türkis, Sauerstoff – rot.



*Abb.4: Ein Spodumen-Zwilling aus Pakistan (links) und ein angeschliffener Kristall aus Schweden (rechts) verdeutlichen die breite Palette der äußerlichen Erscheinungsformen dieses Minerals.*

in den wegweisenden Werken zur Mineral-Klassifikation einen bislang einsamen Platz in der Untergruppierung der „Lithium-Pyroxene“ verdankt (vgl. MORIMOTO et al., 1988; GAINES et al., 1997; STRUNZ & NICKEL, 2001). Eine schematische Darstellung, welche die für Klinopyroxene typischen Oktaeder- und Tetraeder-Ketten parallel der kristallographischen  $c$ -Achse verdeutlichen soll, ist in Abb.3 wiedergegeben.

Sehr reine Exemplare sind durchsichtig, doch führen Einschlüsse zu einer meist mehr oder weniger starken Undurchsichtigkeit (Abb.4,5). In idealer chemischer Zusammensetzung ist die Verbindung farblos, in der Natur rufen aber mannigfaltige Verunreinigungen eine breite Palette an Farben hervor (Abb.6). Während das gemeine Mineral oft in weißlichen, gräulichen, bräunlichen oder gelblichen Tönen recht unscheinbar wirkt, treten auch teilweise intensiv gefärbte Varietäten auf: Rosa



*Abb.5: Grade der Opazität in Spodumen: ein undurchsichtiges Exemplar aus der Steiermark (links, ca. 4 cm lang) und ein völlig transparentes aus Afghanistan (rechts, ca. 14 cm lang) markieren die Extreme.*



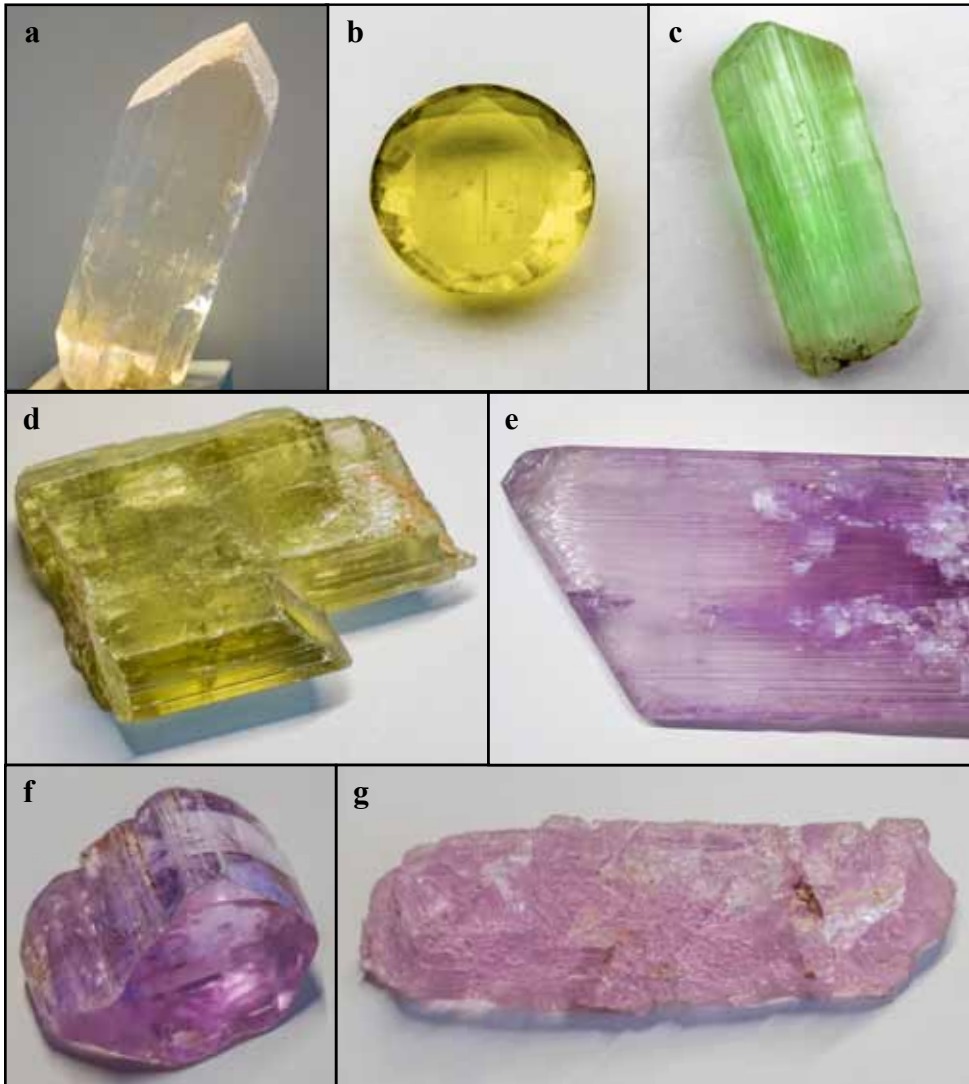


Abb.6: Gefärbte Varietäten in Schmuckstein-Qualität von bekannten Fundorten, die unter folgenden Bezeichnungen gehandelt werden: „Triphan“ a) aus Nuristan (Afghanistan; ca. 5 cm) und b.) aus Afghanistan (geschliffen, Temperatur-behandelt; ca. 1.5 cm), „Hiddenit“ c.) aus Laghman (Afghanistan; ca. 4 cm) und d.) Minas Gerais (Brasilien; ca. 15 cm), sowie „Kunzit“ e..f.) aus Kunar (Afghanistan; ca. 3 cm) und g.) Pala (Kalifornien, USA; ca. 10 cm).

bis violette Exemplare werden als „Kunzit“ gehandelt, deren Farbe vor allem durch den Einbau von Mangan beeinflusst wird (z.B. CZAJA et al., 2020; REHMAN et al., 2020), in grünem „Hiddenit“ ist ein Gehalt an Chrom maßgeblich (z.B. ROSSI et al., 2014) und die gelbe Farbe von „Triphan“ wird vornehmlich auf Eisen zurückgeführt (z.B. GHESHLAGHI et al., 2022). Darüber hinaus gibt es Hinweise auf weitere farbgebende Übergangsmetalle und Farbzentren (z.B. NASSAU, 1984; LYCKBERG, 2017; ZANDI, 2020) sowie Ergebnisse künstlicher Temperatur- und Strahlenbehandlungen (z.B. LEAL et al., 2005; BOSSHART et al., 2011;

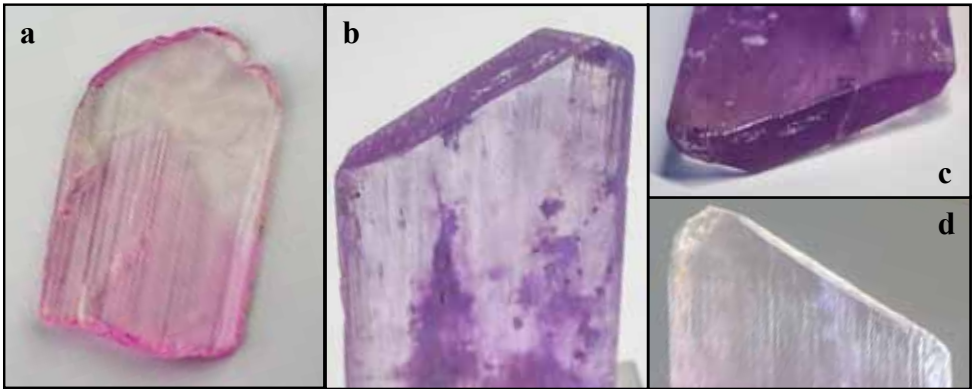


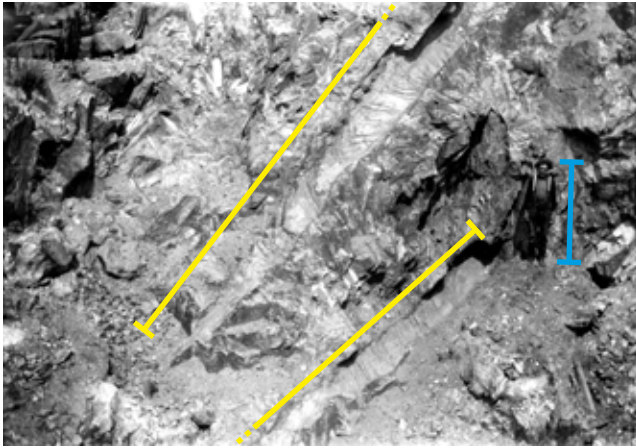
Abb. 7: Starker Pleochroismus in Kunzit – a.) Exemplar aus Afghanistan mit deutlichem visuellem Unterschied zwischen den zur Blickrichtung unterschiedlich orientierten Flächen (ca. 5 cm), b.-d.) Spitze eines Exemplars aus Kunar (Afghanistan) in drei verschiedenen Blickwinkeln (Breite ca. 8 cm).

NOITHONG et al., 2013), die Anlass zu zahlreichen weiteren Färbungen von blau bis orange gaben. In transparenten Exemplaren ist ein starker Pleochroismus zu beobachten (Abb. 7).

Die Härte ist relativ hoch und liegt mit 6.5-7 auf der MOHSSchen Skala knapp unterhalb von oder fast gleichauf mit Quarz. Die Kristalle sind spröde, charakteristisch ist eine gute Spaltbarkeit mit Spaltwinkeln nahe  $90^\circ$  (vgl. Abb. 4). An den Kristall- und Spaltflächen ist ein Glas- bis Perlglanz zu beobachten. Die monokline Symmetrie der atomaren Struktur äußert sich in einem prismatischen, oftmals abgeflachten und länglichen Erscheinungsbild der Einkristalle. Die Flächen großer Exemplare sind selten spiegelglatt, sondern zeigen meist eine typische Streifung oder natürliche Ätzfiguren (vgl. Abb. 8), auch an einspringenden Winkeln gut erkennbare Zwillingsbildungen sind häufig (vgl. Abb. 4 und KRICKL, 2022b). Erstaunlich ist dabei die Größe, die Exemplare von Spodumen erreichen können. In österreichi-



Abb. 8: Kristallflächen von Spodumen sind selten spiegelglatt, sondern zeigen häufig eine markante Oberflächenstrukturierung – beispielhaft hier zu sehen ist etwa eine Streifung an einem Exemplar aus Laghman/Afghanistan (oben, Bildbreite ca. 6 cm) oder diverse Ätzerscheinungen an einem Kunzit aus Pala/USA (unten, Bildbreite ca. 3 cm).



*Abb.9: Dieses historische Foto aus dem Jahr 1904 dokumentiert riesige Spodumen-Kristalle in den Etta Minen (Black Hills, South Dakota, USA). Im Vergleich mit einem erwachsenen Menschen (blauer Balken), sticht die Länge einzelner Exemplare von über 10 m (gelbe Balken) ins Auge (Foto: U.S. Geological Survey, swt00066/30598/btch368/66).*

schen Vorkommen sind Kristalle von einigen Zentimetern Größe keine Seltenheit, auch sind Exemplare in Schmuckstein-Qualität aus Afghanistan oder Brasilien bis zu Dezimeter-Größe keine absolute Rarität auf dem Markt (vgl. Abb.5) – wengleich das regelrecht winzig erscheint verglichen mit den Funden von Giganten, die bereits von dieser Spezies belegt sind. In den Pegmatit-Lagerstätten der Black Hills (South Dakota, USA), speziell der Etta Mine, wurden bereits im 19. Jahrhundert extrem große Kristalle beschrieben (vgl. Abb.9), welche von den Ansässigen als „logs“ („Baumstämme“) bezeichnet wurden: BLAKE (1885) berichtete von einem Exemplar mit rund 11 m Länge, MONTGOMERY (1900) von einem mit knapp 12 m, HESS (1911) und ZIEGLER (1914) erwähnten einen knapp 13 m langen Kristall und SCHALLER (1916) veröffentlichte Fotos von den dortigen Rekordhaltern mit rund 14.3 m Länge. Während RICKWOOD (1981) in einer Übersichtsarbeit über die größten Exemplare aller Minerale Berichte über noch längere Spodumene mit über 15 m (WALDSCHMIDT, 1920) anzweifelte, konstatierte er dass es sich bei jenem von SCHALLER (1916) um den größten Kristall überhaupt (!) handle, von dem ein fotografischer Beweis existiert. Die Spodumene der Etta Mine übertreffen damit sogar die in den letzten Jahrzehnten zu Weltruhm gelangten Gips-Kristalle aus Naica in Mexiko, von denen der längste mit 11.4 m gemessen wurde (vgl. BADINO et al., 2009). Während letztere heute aufgrund der Flutung des Stollens nicht mehr zugänglich sind, wurde erst unlängst in den USA wieder ein gut dokumentiertes Vorkommen von riesigen Spodumen-Kristallen mit bis zu 11 m Länge beschrieben (SIMMONS et al., 2019). Somit lieferte dieses Mineral einige der allergrößten Kristalle, die bisher auf der Erde entdeckt wurden.

### **Entdeckungsgeschichte und Etymologie**

Erstmals wurde Spodumen im Jahr 1800 als eigene Mineralart beschrieben – von dem brasilianischen Mineralogen José Bonifácio DE ANDRADA E SILVA (1763-1838) aus einer Fundstelle auf der schwedischen Insel Utö östlich von Stockholm (D'ANDRADA, 1800). Eine dezidierte Herleitung des Namens findet sich in dieser Erstbeschreibung leider nicht – wengleich sich ein Hinweis ausmachen lässt. So wird als eine der auffallendsten der beobachteten Eigenschaften das Verhalten der



Abb.10: Historische Spodumen-Handstücke aus Südtirol (Ortsangaben Ratschings bzw. Valtigel) in der Sammlung der Geologischen Bundesanstalt (links Inv. Nr. GBA VIII/1044, Breite ca. 7 cm, rechts Inv. Nr. GBA VIII/1042, Breite ca. 9 cm).

neuen Spezies bei Erhitzung vor dem Lötrohr erwähnt: „(...) Auf der Kohle vor dem Lötrohre wird sie am ersten gelinden Feuer undurchsichtig, matt und gelblich, entfaltet sich nach der Lage ihrer Blätter; indem sie ein wenig aufschwillt, und zerfällt nachher in eine geschmacklose Asche, welche in einem starken Feuer ein sehr durchscheinendes grünlichweißes Glas giebt. (...)“ (D’ANDRADA, 1800). Der in der Überschrift zu diesem Abschnitt gewählte Name der Mineralart „*Spodumene*“ lässt sich dahingehend auf das griechische σποδοῦμενος zurückführen, was sinngemäß mit „der zu Asche Verbrennende“ zu übersetzen wäre.

Bemerkenswert ist, dass das chemische Element Lithium zur Zeit der Erstbeschreibung des Spodumens (von dem es einen Hauptbestandteil darstellt), noch nicht bekannt war. Es wurde erst knapp zwei Jahrzehnte später durch ARFWEDSON (1818) entdeckt und zwar zunächst in Petalit – ebenfalls eine Spezies, die in D’ANDRADA (1800) erstbeschrieben und benannt wurde – und dann unmittelbar darauf als zweite Mineralart in Spodumen. Das Material dieser Erstnachweise von Lithium stammte aus besagter Typlokalität in Schweden, welche über lange Zeit das einzige bekannte Vorkommen von Spodumen auf der ganzen Welt war. Bereits die global zweite Fundstelle dieser Mineralart wurde jedoch im Alpenraum entdeckt: 1817 stellte man mit großem Aufsehen fest, dass dieses bis dahin nur aus Schweden bekannte Mineral auch bei Ratschings im Grenzgebiet zwischen Nord- und Südtirol vorkommt (LEONHARD & VOGEL, 1819; vgl. Abb.10). Erst einige Jahre später wurden die Vorkommen in den USA entdeckt (N.N., 1823) und im wahrsten Sinne des Wortes kristallisierte sich heraus, dass Spodumen typischerweise in Pegmatiten auftritt. Seither wurden nach und nach mehrere hundert Fundstellen auf allen Kontinenten entdeckt. Gerade aber jene Vorkommen in Österreich blieben für Forschung und Wirtschaft besonders interessant: Auf der Weinebene bzw. Koralpe im Grenzgebiet zwischen Kärnten und der Steiermark wurde eine der größten europäischen Lagerstätten von Spodumen entdeckt – zunächst von BECK-MANNAGETTA (1951) als „Diopsidaplit“ angesprochen, dann richtig erkannt durch MEIXNER (1966). Schon seit den 1980er Jahren intensivieren sich zunehmend die Untersuchungen (vgl. GÖD, 1989; NIEDERMAYER & GÖD, 1992) und Vorbereitungen für einen Abbau, der aufgrund der jüngsten globalen Entwicklungen immer attraktiver wird (siehe Abb.11,12).





Abb.11: Im 1985 angeschlagenen „Traudi-Stollen“ in der Koralpe, ist mit einem großen Spodumen-Pegmatitkörper (durch die helle Farbe gut gegen das Umgebungsgestein erkennbar) eine der größten europäischen Lithium-Lagerstätten aufgeschlossen. Schlitzproben bestätigten die hohe Abbauwürdigkeit.

### Forschung und Anwendungen

Die Palette ansprechender Farben, gekoppelt mit der erwähnten häufigen Größe, einer oftmals schönen Transparenz und einem ansprechenden Glanz, führt zu einer attraktiven Verwendung als Schmuckstein. Rosa bis violette Varietäten werden als „Kunzit“ gehandelt, grüne als „Hiddenit“ und gelbe als „Triphan“ (Abb.13). Manche haben es sogar bis in den berühmten Juwelenschmuck gekrönter Häupter – wie beispielsweise der russischen Zarenfamilie (z.B. KING & WILSON, 2014) oder des britischen Königshauses (z.B. MUNN, 2001) – geschafft. Berühmtheit hat auch der 47 ct Kunzit-Ring der einstigen First Lady der USA Jackie Kennedy erlangt (z.B. TURNER & GROAT, 2022).

Wirtschaftlich noch bedeutsamer als sein attraktives Äußeres, sind die „inneren Werte“ der Verbindung: Als *das* wichtigste Erz für Lithium, ist Spodumen aktuell einer der weltweit gesuchtesten Rohstoffe. Da die Nachfrage nach diesem zentralen Bestandteil von Akkus aufgrund des Ausbaus der Elektromobilität und erneuerbarer Energiequellen (Speicher für Wind- und Solaranlagen) in naher Zukunft die heutige Gesamtweltproduktion um ein Vielfaches übersteigt (Schätzungen reichen bis zu rund 1.000% in den nächsten Jahrzehnten – vgl. z.B. GUZMÁN et al., 2022), wird der Abbau dieses Minerals immer bedeutsamer. Schon jetzt sind mobile Elektrogeräte, die mit Lithium-Akkus betrieben werden – von Handys über Laptops, Spielzeug und Fotoapparaten bis hin zu Akkuschaubern oder Bohrmaschinen u.v.m – nicht aus unserem modernen Alltag wegzudenken. Spodumen ist hierbei eines der wichtigsten Minerale, das zu ihrer Erzeugung notwendig ist (vgl. Abb.14). Die Bedeutung des Erzes wird noch dadurch erhöht, da die zweite große Quelle von Lithium – die Gewinnung aus salzreichen Wässern – mit unvorteilhaften Aspekten bezüglich Sozioökonomie, Umweltauswirkungen und Fördergeschwindigkeiten behaftet ist (z.B. CHORDIA et al., 2022).



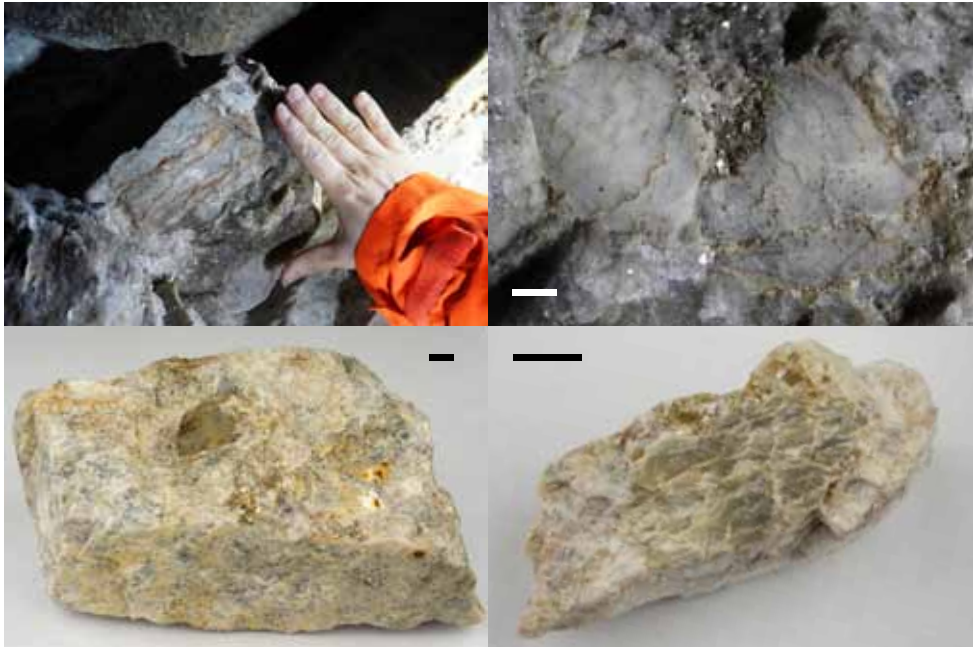


Abb.12: Große Spodumen-Kristalle aus dem vorbereiteten Bergbau in der Koralpe – oben anstehend in der Stollenwand, unten geborgene Stücke (zur Größenangabe ist ein 1 cm langer Balken eingefügt).

Historisch betrachtet ist die gezielte Verwendung von Lithium eine extrem junge Episode der Menschheitsgeschichte: während sie zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch fast nicht existent war, erlebte sie erst während des Zweiten Weltkriegs einen starken Aufschwung, als Lithium-Hydrid eingesetzt wurde um durch Wasserstoff-Entwicklung Ballon-Antennen für Rettungsfunkgeräte aufsteigen zu lassen oder Lithium-Hydroxid zur  $\text{CO}_2$ -Absorption in U-Booten – eine Technik die anschließend weiter in der bemannten Raumfahrt genutzt wurde (OBER, 2000). Mit der Entwicklung der Lithium-Batterien nahm der Bedarf in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts dramatisch zu (z.B. REDDY et al., 2020). Die modernen Anwendungen des gewonnenen Lithiums gehen aber noch viel weiter: auch zur Luftaufbereitung, Metallherstellung, für Schmiermittel, Polymere, Leichtmetalllegierungen, optische und elektronische Bauteile oder Medikamente wirdes benötigt (z.B. BROWN et al., 2016). Das Mineral selbst, synthetische Analoga und strukturelle Modifikationen spielen bei der Herstellung von Keramiken und Glaskeramiken im Alltagsgebrauch (z.B. Herdplatten und Kochgeschirr – HÖLAND & BEALL, 2013; JUNLAR et al., 2018), in der Kunst (z.B. Töpferei und Glasuren – CUFF, 1996; BRITT, 2007), im Personenschutz (z.B. Körperpanzerung – SAVVOVA et al., 2017), in der Medizin (z.B. Zahnmedizin – KHATER et al., 2013), in der Luft- und



Abb.13: Geschliffener Triphan (links, ca. 1 cm) und Kunzit (rechts, ca. 2 cm).



Abb.14: Übersicht über die mannigfaltigen Erscheinungsformen des Minerals Spodumen, mit Hinweis auf die wichtige Verwendung zur Erzeugung von Lithium-Akkus.

Raumfahrt u.v.m. eine wichtige Rolle (z.B. BIBIENNE et al., 2020) oder werden als Flussmittel im Stahlguss oder der Glaserzeugung eingesetzt (z.B. SCHMIDT, 2017). Als besondere Anwendung sei noch jene von Spodumen-Kristallen als Detektor-Material für hochenergetische Strahlung erwähnt, da sie auf wegweisende Arbeiten aus Österreich zurückzuführen ist: 1908 teilte der zwei Jahre darauf zum Präsidenten der *Wiener Mineralogischen Gesellschaft* (vgl. HAMMER, 2001) ernannte Mineraloge Cornelio August DOELTER (1850-1930) bei einer Sitzung der *Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* die Ergebnisse von Bestrahlungs-Experimenten an der erst kurz zuvor entdeckten (KUNZ, 1903) Spodumen-Varietät Kunzit mit (DOELTER, 1909). Proben erhielt er unter anderem von dem maßgeblich an der Gründung des später zu Weltruhm gelangten *Institutes für Radiumforschung* in Wien beteiligten Physiker Stefan MEYER (1872-1949), der als einer der hochgeachteten Pioniere der Radioaktivitätsforschung gilt (vgl. REITER, 2001). Der Austausch war jedoch beidseitiger Natur, so dass MEYER (1909) ebenfalls Untersuchungen an radioaktiv bestrahltem Kunzit publizieren konnte, die er wie angegeben sowohl von DOELTER als auch von seinem Onkel (vgl. REITER, 2014) Victor Mordechai GOLDSCHMIDT (1853-1933) erhielt – dem zeitweise auch in Österreich wirkenden Kristallographen, der eine umfassende Kompilation der Kristallformen von Spodumen herausgab (vgl. KRICKL, 2022b). Es waren konkret diese Beobachtungen von induzierten Verfärbungen und Lumineszenz-Eigenschaften, die das lebenslange Interesse des von MEYER ans Radiuminstitut geholten Physikers Karl PRZIBRAM (1878-1973) an der Mineralogie weckten (REITER, 2019). Auf Basis wegweisender Experimente und einflussreicher



Abb.15: Beispiel eines weiteren österreichischen Vorkommens von Spodumen: Nahe der oststeirischen Ortschaft Garrach ist ein zonierter Pegmatitkörper aufgeschlossen, in dem auch Spodumen zu finden ist.

Publikationen (z.B. PRZIBRAM, 1953), führte er nicht nur bis heute gültige Ideen und Termini wie etwa „Farbzentren“ (PRZIBRAM, 1926) ein, sondern hat, wie retrospektiv festgestellt „die ersten Grundlagen für jenes Gebiet geschaffen, das heute als nukleare Festkörperphysik bekannt ist.“ (REITER, 2000). An diesem Anfang stand wie gesagt die Spodumen-Varietät Kunzit, deren Untersuchung in weiterer Folge nicht nur mehrfach von DOELTER (z.B. 1925), MEYER (z.B. 1918) und PRZIBRAM (z.B. 1925), sondern konkret auch von deren Schülerinnen (z.B. BĚLAŘ, 1924; ZEKERT, 1927 – vgl. ZELGER, 2008) weiter verfolgt wurde. An diese Ursprünge in Wien knüpfen nach einer Zäsur neue Arbeiten zum Einsatz von natürlichen und synthetischen Spodumen-Kristallen an, welche die Eigenschaften der strahlungsinduzierten Verfärbung für die Dosimetrie in Erd- und Materialwissenschaften sowie im Strahlenschutz nutzen: für Personendosimeter für UV-Strahlung (z.B. HAJEK et al., 2007), für retrospektive Dosimetrie nach einem radioaktiven Unfall (z.B. LIMA et al., 2010) bzw. zur Bestimmung kumulierter beta- und gamma-Dosen (z.B. LIMA et al., 2014a,b; D’AMORIM et al., 2014).

Der zunehmende Bedarf an Spodumen als Erz oder Industriemineral, lässt auch die Stimmen nach einer sicheren Versorgung mit diesem Rohstoff immer lauter werden. Mit Blick auf die bereits erwähnten Vorkommen der Koralpe als eine der größten Lagerstätten Europas, liegen die Vorteile eines Abbaus in der EU bzw. speziell in Österreich auf der Hand: Während man im Moment praktisch ganz auf Importe aus anderen Kontinenten angewiesen ist (rund 97% der Weltproduktion an Lithium kommen allein aus Australien, Chile, China und Argentinien – REICHL & SCHATZ, 2022), könnte man durch einen europäischen Abbau nicht nur unabhängiger werden, sondern auch massiv Transportwege und damit CO<sub>2</sub>-Ausstoß minimieren, lokale Arbeitsplätze schaffen, Knowhow sichern und den technologischen Standort stärken. Noch harrt das bereits gut ausgebaute Stollensystem zwar dem wirtschaftlichen Abbaubetrieb, doch steht bereits jetzt fest, dass diese österreichische Lagerstätte einzigartig ist und allein schon die mit der Prospektion einhergehende Erforschung ein ganz neues Fenster zum Verständnis des hiesigen Untergrunds geöffnet hat (z.B. GÖD, 2014).

Generell wird zunehmend mehr Forschung bezüglich der Auffindung von Spodumen-Lagerstätten und hieraus abgeleitet auch ihrer natürlichen Entstehung





Abb.16: Die Briefmarke zum Mineral des Jahres 2022 wurde auf nummerierten Ersttagsbelegen am Geburtstag des Erstbeschreibers von Spodumen emittiert.

betrieben. Gerade Österreich nimmt diesbezüglich eine weltweite Vorreiterrolle ein – und es wurden und werden seitens der Universitäten und der *Geologischen Bundesanstalt (GBA)* mehrere wegweisende neue Erkenntnisse geliefert. Exemplarisch sei das neue Modell der Entstehung von großen Lithium-Pegmatitkörpern im Alpenraum, nicht wie bisher gemeinhin vermutet durch Restschmelzen von Granitintrusionen, sondern durch anatektische Bildungen aus Metamorphiten angesprochen (z.B. SCHUSTER et al., 2014; KNOLL et al., 2018, 2021) – was global neue, verheißungsvolle Perspektiven für die Verortung von Lagerstätten eröffnet. Auch in der geo- und materialwissenschaftlichen Grundlagenforschung und im Bereich der Gemmologie werden in österreichischen Forschungseinrichtungen Spodumen immer neue Geheimnisse entlockt (z.B. FILIP et al., 2006; FRIGO, 2016; u.v.m.). Wie bei den meisten der hier vorgestellten Themen, würde eine vollständige Behandlung den Rahmen der vorliegenden, groben Übersicht bei weitem sprengen. Die Aktualität kann exemplarisch dadurch belegt werden, dass allein schon bei der letzten *MinPet*-Tagung der *ÖMG* drei Studien zu Spodumen-Pegmatiten in Österreich präsentiert wurden (HORVAT & MALI, 2021; HUET et al., 2021; KRENN et al., 2021). Für Interessierte sei zuletzt auch auf den praktischen Exkursionsführer zu steirischen Fundstellen hingewiesen (vgl. Abb.15), der seitens der *GBA* Open Access online verfügbar gemacht wurde (SCHUSTER et al., 2017).

### Aktionen rund um das Mineral des Jahres

Noch immer haben die Einschränkungen aufgrund der COVID19-Pandemie die Durchführung zahlreicher Aktivitäten rund um das *Mineral des Jahres* unterbunden. Dies betraf beispielsweise die traditionelle Sonderausstellung und Herausgabe der Sonderbriefmarke bei den *Mineralientagen & Geoforum* in Brunn am Gebirge, die Corona-bedingt nicht stattfinden konnten. Aus diesem Grund lief ein Ersttagsbeleg in Form einer sondergestempelten, nummerierten Postkarte an alle Interessierten per Post (Abb.16). Die Emission erfolgte am 13. Juni, dem Geburtstag des Entdeckers und Namensgebers des Spodumens José Bonifácio DE ANDRADA E SILVA (nebenbei ist sein Name Mineralog\*innen gut vertraut, da er in der Bezeichnung des Granats Andradit verewigt wurde).

Trotz Kontaktbeschränkungen konnten zahlreiche Interessierte unter Einsatz moderner Technologien und Medien informiert werden: über online-Vorträge – wie etwa bei der *Langen Nacht der Forschung* – oder Ausstellungen im öffentlichen Raum. Bei letzteren sei die große Schauvitrine mit Displays im Auslagefenster der *GBA* hervorgehoben (Abb.17a-c). Mittels informativer Plakate, interessanter



Abb.17: Auswahl von öffentlichen Ausstellungen zum Mineral des Jahres 2022. a-c) Große Sondervitrine in der Auslage der GBA (Wien), mit Flyer zur Ausstellung, d) Sondervitrine im Geozentrum Steinstadel (Aggsbach-Dorf), e) Sonderschau zur Messe Mineralium (Stadthalle Wien), f) Informationsstation des Mineralien & Naturverein Wienerwald (Wr. Neudorf).

Schaustücke, zusätzlicher Informationen über das Internet und eines eigens gedruckten Folders, wurde dabei auf die Bedeutung des Rohstoffs Spodumen und aktuelle Forschungsprojekte hingewiesen (der Flyer ist noch immer gratis im Foyer der GBA erhältlich bzw. kann online von deren Webseite heruntergeladen werden). Auch diverse große und kleine Museen griffen die lehrreiche Gelegenheit auf, in ihren Aktivitäten und Ausstellungen auf das aktuelle *Mineral des Jahres* hinzuweisen – beispielhaft sei hier die Sondervitrine im *Geozentrum Steinstadel* erwähnt (Abb.17d). Die ÖMG widmete dem Mineral des Jahres erneut das Cover der vorliegenden Mitteilungen und liefert neben diesem Übersichtsartikel auch Fotos historischer Spodumen-Stufen im Kapitel „Fotodokumentation österreichischer

Mineralfunde“ und im Kapitel „Extras“ einen Bausatz für ein historisches Kristallmodell von Spodumen als Zusatzmaterial (KRICKL, 2022b). Mineralien-Vereine veranstalteten diverse Vorträge, Exkursionen und Sonderschauen zum Thema (z.B. Abb.17e,f) und letztlich trugen auch zahlreiche Berichte in online-, Print- und Rundfunk-Medien zur weiten Wissensverbreitung bei.

Eine Übersicht über viele Aktivitäten und zahlreiche Informationen liefert wie gehabt die Webseite [www.mineraldesjahres.at](http://www.mineraldesjahres.at) und die allgemein zugängliche Facebook-Infogruppe [www.facebook.com/groups/mineraldesjahres](http://www.facebook.com/groups/mineraldesjahres), auf welcher zahlreiche interessante Fakten und Bilder geteilt werden. Während nun ein im Sinne der Wissensvermittlung erfolgreiches Jahr zu Ende geht, freuen wir uns schon auf das *Mineral des Jahres 2023*, das zu Beginn des neuen Jahrs auf der Homepage bekannt gegeben wird.

### Dank

Dank sei Peter Lunzer und Ralf Schuster ausgesprochen einige ihrer Sammlungsstücke ablichten zu dürfen, letzterem, Dieter Sommer, Tanja Knoll und Robert Grassler für wertvolle Diskussionen zum Thema und Einblicke in bedeutende Lagerstätten.

### Literatur

ARFWEDSON, A. (1818): Untersuchung einiger bei der Eisen-Grube von Utö vorkommenden Fossilien und von einem darin gefundenen neuen feuerfesten Alkali. – Journal für Chemie und Physik, 22(1), 93-117.

BADINO, G., FERREIRA, A., FORTI, P., GIOVINE, G., GIULIVO, I., INFANTE, G., LO MASTRO, F., SANNA, L. & TEDESCHI, R. (2009): The Naica caves survey. 1764-1769 in WHITE, W.B. (Ed.): 2009 ICS Proceedings, 15th International Congress of Speleology, Kerrville, Texas (USA).

BECK-MANNAGETTA, P. (1951): Die Auflösung der Mechanik der Wolfsberger Serie, Koralpe, Kärnten. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 94, 127-157.

BĚLAŘ, M. (1924): Spektrophotometrische Untersuchung der Verfärbungserscheinungen durch Becquerelstrahlen. – Anzeiger der Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 60(2-3), 7.

BIBIENNE, T., MAGNAN, J.-F., RUPP, A. & LAROCHE, N. (2020): From Mine to Mind and Mobiles: Society's Increasing Dependence on Lithium. – Elements, 16(4), 265-270.

BLAKE, W.P. (1885): Spodumene crystals of gigantic size. – American Journal of Science (Third Series), 29, 71.

BOSSHART, G., TAY, Y.K., HAINSCHWANG, T., KRZEMNICKI, M. & DRESSLER, R. (2011): Colorimetric investigation of unstable and stable Spodumene colours. – 26-30 in KRZEMNICKI, M.S. (Ed.): 32<sup>nd</sup> International Gemmological Conference IGC, Interlaken (Schweiz).

BRITT, J. (2007): The Complete Guide to High-Fire Glazes. 184p., Lark Books, New York.



- BROWN, T., WALTERS, A., IDOINE, N., GUNN, G., SHAW, R.A. & RAYNER, D. (2016): *Lithium*. 39p., British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.
- CAMERON, M., SUENO, S., PREWITT, C.T. & PAPIKE, J.J. (1973): High-Temperature Crystal Chemistry of Acmite, Diopside, Hedenbergite, Jadeite, Spodumene, and Ureyite. – *American Mineralogist*, 58, 594-618.
- CHORDIA, M., WICKERTS, S., NORDELÖF, A. & ARVIDSSON, R. (2022): Life cycle environmental impacts of current and future battery-grade lithium supply from brine and spodumene. – *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106634.
- CUFF, Y.H. (1996): *Ceramic Technology for Potters and Sculptors*. 407p., University of Pennsylvania Press, Philadelphia.
- CZAJA, M., LISIECKI, R., KADZIOLKA-GAWEL, M. & WINIARSKI, A. (2020): Some Complementary Data about the Spectroscopic Properties of Manganese Ions in Spodumene Crystals. – *Minerals*, 10(6), 554.
- D'AMORIM, R.A.P.O., DE VASCONCELOS, D.A.A., DE BARROS, V.S.M., KHOURY, H.J. & SOUZA, S.O. (2014): Characterization of  $\alpha$ -spodumene to OSL dosimetry. *Radiation Physics and Chemistry*, 95, 141-144.
- D'ANDRADA, J.B. (1800): Kurze Angabe der Eigenschaften und Kennzeichen einiger neuen Fossilien aus Schweden und Norwegen, nebst einigen chemischen Bemerkungen über dieselben. – *Allgemeines Journal der Chemie*, 4, 28-39.
- DOELTER, C. (1909): Über die Einwirkung von Radium- und Röntgenstrahlen auf die Farben der Edelsteine. – *Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften*, 29, 1145-1170.
- DOELTER, C. (1925): Beobachtungen über Verfärbung von Mineralen durch Bestrahlung. – *Tschermaks Mineralogisch-Petrographische Mitteilungen*, 38, 456-463.
- FILIP, J., NOVÁK, M., BERAN, A. & ZBOŘIL, R. (2006): Crystal chemistry and OH defect concentrations in spodumene from different granitic pegmatites. – *Physics and Chemistry of Minerals*, 32(10), 733-746.
- FRIGO, C., STALDER, R. & HAUZENBERGER, C. (2016): OH defects in quartz in granitic systems doped with spodumene, tourmaline and/or apatite: experimental investigations at 5–20 kbar. – *Physics and Chemistry of Minerals*, 43(10), 717-729.
- GAINES, R.V., SKINNER, H.C.W., FOORD, E.E., MASON, B. & ROSENZWEIG, A. (1997): *Dana's new mineralogy* (Eighth Edition). – 1819p., John Wiley and Sons, New York u.a.
- GHESLAGHI, R.S., GHORBANI, M., SEPAHI, A.A., DEEVSAALAR, R., NAKASHIMA, K. & SHINJO, R. (2022): The origin of gem spodumene in the Hamadan Pegmatite, Alvand Plutonic Complex, western Iran. – *The Canadian Mineralogist*, 60(2), 249-266.
- GÖD, R. (1989): The spodumene deposit at „Weinebene“, Koralpe, Austria. – *Mineralium Deposita*, 24, 270-278.

- GÖD, R. (2014): An unzoned rare element pegmatite in the Eastern Alps – the spodumene deposit „Weinebene“/ Koralpe, Austria – a summary. – 258 in: IMA2014, 21<sup>st</sup> General Meeting of the IMA, Johannesburg, Gauteng (Südafrika).
- GUZMÁN, J.I., FAÚNDEZ, P., JARA, J.J. & RETAMAL, C. (2022): On the source of metals and the environmental sustainability of battery electric vehicles versus internal combustion engine vehicles: The lithium production case study. – *Journal of Cleaner Production*, 376, 133588.
- HAJEK, M., VANA, N., BERGMANN, R., FUGGER, M., GRATZL, W. & SMETANA, F. (2007): Entwicklung eines Personendosimeter-Systems für UV-Strahlung basierend auf Optisch Stimulierter Lumineszenz. 81p., Technische Universität Wien, Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Wien.
- HAMMER, V.M.F. (2001): Sonderschau zum Thema „100 Jahre (Wiener) Österreichische Mineralogische Gesellschaft – ÖMG“. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 146, 397-406.
- HESS, F.L. (1911): Lithium. – 649-653 in U.S. Geological Survey: Mineral Resources of the United States, calendar year 1909, pt. 2., Government Printing Office, Washington.
- HÖLAND, W. & BEALL, G.H. (2013): Glass-Ceramics. – 371-381 in SOMIYA, S. (Ed.): *Handbook of Advanced Ceramics*. Elsevier, Amsterdam u.a.
- HORVAT, C. & MALI, H. (2021): The spodumene pegmatites in Deferegggen (Eastern Tyrol). – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 167, 106.
- HUET, B., KNOLL, T., SCHUSTER, R. & MALI, H. (2021): Lithium pegmatite of anatectic origin: a petrological and geochemical model. – *Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 167, 107.
- JUNLAR, P., WASANAPIARNPONG, T., PUNSUKMTANA, L. & JIRABORVORNPNONGSA, N. (2018): Fabrication and Characterization of Low Thermal Expansion Cordierite/Spodumene/Mullite Composite Ceramic for Cookware. – *Key Engineering Materials*, 766, 276-281.
- KHATER, G.A., HAMZAWY, E.M.A., METWALLY, H.I. & EL-MELIEGY, E. (2013): Spodumene- Nepheline- Anorthite Glass Ceramics for Dental Applications. – *Journal of Applied Sciences Research*, 9(1), 821-825.
- KING, G. & WILSON, P. (2008): *The Fate of the Romanovs*. 944p., Wiley, London.
- KNOLL, T., SCHUSTER, R., HUET, B., MALI, H., ONUK, P., HORSCHINEGG, M., ERTL, A. & GIESTER, G. (2018): Spodumene Pegmatites and Related Leucogranites from the AustroAlpine Unit (Eastern Alps, Central Europe): Field Relations, Petrography, Geochemistry, and Geochronology. – *The Canadian Mineralogist*, 56(4), 489-528.
- KNOLL, T., SCHUSTER, R., MALI, H. & HUET, B. (2021): Die Genese der permischen Lithium-Pegmatite des Ostalpinen Kristallins. – *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 166, 175-180.

- KOBELL, F. (1864): Geschichte der Mineralogie. 703p., J.G. Cotta'sche Buchhandlung, München.
- KRENN, K., HUSAR, M & MIKULICS, A. (2021): Anatectic origin of Permian pegmatites of the Eastern Alps – evidence from fluid inclusions. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 167, 119.
- KRICKL, R. (2020a): MinPet 2019 – Ein Nachbericht. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 166, 11-17.
- KRICKL, R. (2020b): Das Mineral des Jahres in Österreich und die mitentscheidende Rolle der ÖMG. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 166, 59-61.
- KRICKL, R. (2022a): MinPet 2021 – Ein Nachbericht. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 168, 11-20.
- KRICKL, R. (2022b): Körpernetz eines historischen Spodumen-Kristalls. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 168, 141-147.
- KUNZ, G.F. (1903): On a New Lilac-Colored Transparent Spodumene. – Science, 18(452), 280.
- LEAL, A.S, MENEZES, M.A.B.C., BRITO, W., D'URCO, A.F.A., FELIX, M.C., KRAMBROCK, K. & FERREIRA, A.F. (2005): Study of gem materials by neutron irradiation: characterization of impurities and color centers. – 6p in Proceedings of the INAC 2005 International nuclear atlantic conference, Rio de Janeiro (Brasilien).
- LEONHARD, E. & VOGEL, A. (1819): Mineralogisch - chemische Untersuchung des in Tyrol aufgefundenen Triphan's (Spodumen). – Denkschriften der Akademie der Wissenschaften München, 7, 197-212.
- LIMA, L.L., OLIVEIRA, R.A.P., LIMA, H.R.B.R., SANTOS, H.N., SANTOS, J.O., LIMA, A.F. & SOUZA, S.O. (2010): Thermoluminescent properties studies of spodumene lilac sample to dosimetric applications. – Journal of Physics: Conference Series, 249, 012013.
- LIMA, H.R.B.R., NASCIMENTO, D.S. BISPO, G.F.C., TEIXEIRA, V.C., VALÉRIO, M.E.G. & SOUZA, S.O. (2014a): Production and characterization of spodumene dosimetric pellets prepared by a sol-gel route. – Radiation Physics and Chemistry, 104, 93-99.
- LIMA, H.R.B.R., NASCIMENTO, D.S. & DE SOUZA, S.O. (2014b): Production and characterization of spodumene dosimetric pellets by prepared by pechini and proteic sol-gel route. – Radiation Measurements, 71, 122-126.
- LYCKBERG, P. (2017): Gem Pegmatites of Northeastern Afghanistan. – The Mineralogical Record, 48(5), 610-675.
- MEIXNER, H. (1966): Neue Mineralfunde in den österreichischen Ostalpen. XXI. 223. Spodumen (und Beryll) von Trumgraben - Neue Brandhütte - NNO Brandhöhe, Koralpe, Kärnten. – Carinthia II, 156/76, 97-99.



- MEYER, S. (1909): Über das Verhalten von Kunzit unter Einwirkung von Becquerelstrahlung. – *Physikalische Zeitschrift*, 10(14), 483-484.
- MEYER, S. (1918): Neuere Ergebnisse der radioaktiven Forschung. – *Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien*, 58, 167-192.
- MONTGOMERY, H. (1900): A Large Crystal of Spodumene. – *Science*, 12(298), 410.
- MORIMOTO, N., FABRIES, J., FERGUSON, A.K., GINZBURG, I.V., ROSS, M., SEIFERT, F.A., ZUSSMAN, J., AOKI, K. & GOTTHARD, G. (1988): Nomenclature of pyroxenes. – *American Mineralogist*, 73, 1123-1133.
- MUNN, G.C. (2001): *Tiaras: A History of Splendour*. 432p., Antique Collectors' Club, Woodbridge.
- N.N. (1823): Notices of American Spodumen. – *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 3(1), 284-286.
- NASSAU, K. (1984): *Gemstone Enhancement*. 221p., Butterworths, London u.a.
- NIEDERMAYER, G. & GÖD, R. (1992): Das Spodumenvorkommen auf der Weinebene und seine Mineralien. – *Carinthia II*, 182/102, 21-35.
- NOITHONG, P., PAKKONG, P. & NAEMCHANTHARA, K. (2013): Color Change of Spodumene Gemstone by Electron Beam Irradiation. – *Advanced Materials Research*, 770, 370-373.
- OBER, J.A. (2000): Lithium. – *Metals and minerals: U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2000*, 47.1-47.6.
- OLIVEIRA, R.A.P., MELLO, A.C.S., LIMA, H.R.B.R., CAMPOS, S.S. & SOUZA, S.O. (2009): Radiation detection using the color changes of lilac spodumene. – 9p. in 2009 International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2009, Rio de Janeiro (Brasilien).
- PRZIBRAM, K., (1925): Zur Lumineszenz und Verfärbung durch Becquerelstrahlen. – *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abt.IIa*, 134, 233-253.
- PRZIBRAM, K., (1926): Zur Theorie der Verfärbung des Steinsalzes durch Becquerelstrahlen. – *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abt.IIa*, 135, 197-211.
- PRZIBRAM, K., (1953): *Verfärbung und Lumineszenz: Beiträge zur Mineralphysik*. 275p., Springer, Wien.
- REDDY, M.V., MAUGER, A., JULIEN, C.M., PAOLELLA, A. & ZAGHIB, K. (2020): Brief History of Early Lithium-Battery Development. – *Materials*, 13(8), 1884.
- REHMAN, H.U., MARTENS, G., TSAI, Y.L., CHANKHANTHA, C., KIDKHUNTHOD, P. & SHEN, A.H. (2020): An X-ray Absorption Near-Edge Structure (XANES) Study on the Oxidation State of Chromophores in Natural Kunzite Samples from Nuristan, Afghanistan. – *Minerals*, 10(5), 463.

- REICHL, C. & SCHATZ, M. (2022): World Mining Data 2022. 265p., Federal Ministry of Agriculture, Regions and Tourism, Wien.
- REITER, W.L. (2000): Stefan Meyer und die Radioaktivitätsforschung in Österreich. – Anzeiger der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Philosophisch-Historische Klasse, 135, 105-143.
- REITER, W.L. (2001): Stefan Meyer: Pioneer of Radioactivity. – Physics in Perspective, 3, 106-127.
- REITER, W.L. (2014): Mäzenatentum, Naturwissenschaft und Politik im Habsburgerreich und in der Ersten Republik Österreich. – Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften, 25(3), 212-247.
- REITER, W.L. (2019): Karl Przibram: Radioactivity, Crystals, and Colors. – Physics in Perspective, 21, 163-193.
- RICKWOOD, P.C. (1981): The largest crystals. – American Mineralogist, 66, 885-907.
- ROSSI, M., DELL'AGLIO, M., DE GIACOMO, A., GAUDIUSO, R., SENESI, G.S., DE PASCALE, O., CAPITELLI, F., NESTOLA, F. & GHIARA, M.R. (2014): Multi-methodological investigation of kunzite, hiddenite, alexandrite, elbaite and topaz, based on laser-induced breakdown spectroscopy and conventional analytical techniques for supporting mineralogical characterization. – Physics and Chemistry of Minerals, 41, 127-140.
- SAVVOVA, O.V., BABICH, O.V., VORONOV, G.K. & RYABININ, S.O. (2017): High-Strength Spodumene Glass-Ceramic Materials. – Strength of Materials, 49, 479-486.
- SCHALLER, W.T. (1916): U.S. Geological Survey Bulletin 610 – Mineralogical Notes, Series 3. 164p., Government Printing Office, Washington.
- SCHMIDT, M. (2017): Rohstoffrisikobewertung – Lithium. – 134p., DERA Rohstoffinformationen 33, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin.
- SCHUSTER, R., PETRAKAKIS, K., ILICKOVIC, T., MALI, H., ABART, R., MELCHER, F. & HOBIGER, G. (2014): Genesis of spodumene-bearing pegmatites within the Austroalpine unit (Eastern Alps): anatectic vs. magmatic derivation. – Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, 160, 29-30.
- SCHUSTER, R., KNOLL, T., MALI, H., HUET, B. & GRIESMEIER, G.E.U. (2019): Field trip guide: A profile from migmatites to spodumene pegmatites (Styria, Austria). Berichte der Geologischen Bundesanstalt, 134, 1-29.
- SIMMONS, W.B., FALSTER, A.U., NIZAMOFF, J.W. & FREEMAN, G. (2019): Giant spodumene and montebrasite crystals from the Plumbago North pegmatite, Oxford County, Maine. – 74-77 in WISE, M., BROWN, C., SIMMONS, W.B., RODA-ROBLES, E., WEBBER, K. (Eds): PEG 2019 - Proceedings of the 9th International Symposium on Granitic Pegmatites, Pala, California (USA).

- STRUNZ, H. & NICKEL, E.H. (2001): Strunz Mineralogical Tables. 870p., Schweizerbart, Stuttgart.
- TURNER, D. & GROAT, L.A. (2022): Geology and Mineralogy of Gemstones. 288p., John Wiley & Sons, Hoboken.
- WALDSCHMIDT, W.A. (1920): The largest known beryl crystal. – Pahasapa Quarterly (Black Hills Engineer), 9, 11-16.
- ZANDI, F. (2020): Blue Spodumene. – Gems & Gemology, 56(3), 423-424.
- ZELGER, K.M. (2008): Stefan Meyer und die Frauen: Kooperationsverhältnisse am Wiener Institut für Radiumforschung 1910-1938. 99p., Diplomarbeit, Universität Wien.
- ZEKERT, B. (1927): Zur Verfärbung des Steinsalzes und des Kunzits durch Becquerelstrahlen. – Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abt.IIa, 136, 337-355.
- ZIEGLER, V. (1914): The mineral resources of the Harney Peak pegmatites II. – Mining and Scientific Press, 108, 654-656.