

Weitere Untersuchungen an einigen farbwechselnden Edelsteinen

H. A. HÄNNI, Basel

Zusammenfassung

Vier farbwechselnde Mineralien wurden optisch und chemisch untersucht. Dabei ist Cr^{3+} bei Disthen und Diaspor bzw. V^{3+} bei Pyrop- und Grossular-reichem Spessartin und Korund als Ursache für den Farbwechsel gefunden worden. Die Absorptionsspektren zeigen bei allen Proben Absorptionsmaxima bei etwa 570 nm und Transmissionsmaxima im blaugrünen und roten Teil des Spektrums. Bei den stark pleochroitischen Proben liegen diese speziellen Absorptionseigenschaften nur in einer Richtung vor. Es treten auch Farbwechsel auf, die nicht im strengen Sinn als alexandritartig bezeichnet werden können.

Abstract

The optical and chemical features of four colour changing minerals were investigated. It was found that Cr^{3+} in the case of kyanite and diaspor, and V^{3+} in the case of pyrope- and grossularite-rich spessartite and corundum, respectively, are responsible for the colour change. The absorption spectra of all samples show absorption maxima near 570 nm and regions of transmission in the bluegreen and red part of the spectrum. In the strongly pleochroic samples these special absorption features are present in one direction only. Also colour changes occur which are different from alexandrite like in the strict sense.

In den letzten zehn Jahren sind etliche Publikationen über farbwechselnde Edelsteine erschienen (vgl. GÜBELIN & SCHMETZER, 1982). Aus dem dadurch angeregten Interesse an dieser Eigenschaft resultierte eine verstärkte Aufmerksamkeit, die zur Folge hatte, daß Edelsteine generell auf – auch schwach hervortretende – Alexandritartigkeit hin geprüft wurden. Dadurch sind immer wieder neue Minerale mit Farbwechseleigenschaften zum Vorschein gekommen. Neben den rein beschreibenden Arbeiten sind Untersuchungen in theoretischer und experimenteller Richtung zur Erklärung des Farbwechsel-Phänomens gemacht worden (SCHMETZER et al., 1980). Dies führte zu folgenden Erkenntnissen:

Der alexandritartige Farbwechsel hat einerseits seine Ursache in der unterschiedlichen spektralen Zusammensetzung von Tageslicht (reich an Blau und Grün) und Glühlampenlicht (reich an Rot). Andererseits wird er ermöglicht durch die besonderen Absorptions- und Durchlässigkeitseigenschaften, die sich nach SCHMETZER et al. (1980) darstellen in einem

- Transmissionsmaximum im Rot
- Absorptionsmaximum im Gelb
- Transmissionsmaximum im Blaugrün
- Absorptionsmaximum im Violett

Verantwortlich für die farbbestimmenden Absorptionsbanden sind hauptsächlich Cr^{3+} und V^{3+} Ionen, in einigen Fällen aber auch Seltene Erden. Der Einfluß der Mineralart

auf die Lage der Absorptionsmaxima von Cr^{3+} und V^{3+} Ionen ist im Rahmen von Kristallfeld-theoretischen Überlegungen von SCHMETZER (1982b) untersucht worden.

In der Folge werden vier Minerale mit Farbwechsel-Eigenschaften behandelt. Zu den bisher nur teilweise beschriebenen Beispielen werden neu ermittelte Daten vorgestellt. Sie sind in Übereinstimmung mit der oben erwähnten Theorie und gestalten damit das Bild, das wir heute vom Phänomen Alexandrit-Effekt haben, ergänzend aus.

In Abb. 1 sind die Absorptionsspektren der vier untersuchten Steine zusammen abgebildet, um die spektralen Gemeinsamkeiten sichtbar zu machen. Je nach der genauen Lage und Breite der Absorptions- und Transmissionsbereiche ergeben sich Farbwechsel, die im engeren Sinn als alexandritartig bezeichnet werden (grün – rot). Manche Autoren bezeichnen grundsätzlich jeden Farbwechsel (z. B. olivgrün – braunrosa) als alexandritartig.

Disthen aus Ostafrika

Disthen (Al_2SiO_5) ist vor allem in verschiedenen starken Blau- und Grüntönen bekannt. Diese Farbvarietäten sind mit unterschiedlichen Mischungen der Spurenelemente Fe, Ti, Cr und V erklärt worden (SCHMETZER, 1978; BOSSHART et al., 1982). Oft kann bei gleichzeitigem Auftreten verschieden färbender Ionen in unterschiedlichen Mengen der Einfluß einer bestimmten Sorte in einem Mineral nicht exakt verfolgt werden. Zudem können Ionenpaare wie z. B. $\text{Fe}^{2+}/\text{Ti}^{4+}$ zusätzlich farbwirksam werden, was Prognosen über die Rolle eines einzelnen Ions am Anteil der resultierenden Farbe erschwert oder unmöglich macht. Schließlich sind auch die Absorptionsspektren solcher „Ioncocktails“ häufig komplexe, nicht mehr auftrennbare Überlagerungen.

Ostafrika ist neben USA und Brasilien bekannt als Fundort schleifwürdiger blauer Disthene (LIDDICOAT, 1973; BANK, 1980). Überraschend war jedoch das Auftreten eines Rohkristalls, der in der Richtung parallel zur Spaltbarkeit (100) und senkrecht zur Längsachse einen Farbwechsel von Hellgrün im Tageslicht zu Violetrot im Glühlampenlicht zeigte. Im übrigen war der Kristall in der Abhängigkeit von der Beobachtungsrichtung blau bis blaugrün. Polarisierte Absorptionsspektren erlaubten das graphische Darstellen des Trichroismus. Die verschiedenen Lagen der Absorptionsmaxima und -minima erklären die unterschiedlichen Farben der Strahlen α (hellgrün), β (grünblau) und γ

Tabelle 1. Chemische und physikalische Daten von alexandritartigem Disthen aus Kenia.

Mikrosonden Analyse (Gew.-%)		Lichtbrechungen
SiO_2	37,08	n_α : 1,714
Al_2O_3	62,10	n_β : 1,724
TiO_2^*	≤ 0,04	n_γ : 1,731
Fe_2O_3	0,35	Δn : 0,017
Mn_2O_3^*	≤ 0,04	
Cr_2O_3	0,50	Achsenwinkel $2V_x$: 82°
V_2O_3^*	≤ 0,04	Dichte: 3,676 g/cm ³

* EDS-XRF qualitative Analysen

(dunkelblau). Der Verlauf der Kurve des α -Strahls ist in Abb. 1a wiedergegeben. Nur dieser Strahl hat im beschriebenen Disthen Farbwechsel-Eigenschaften, denn sein Absorptionsmaximum im sichtbaren Spektrum liegt mit 578 nm im Gelbgrün. Die anschließenden Farben Rot und Blau werden nicht absorbiert, eine starke Absorption erleidet jedoch das nachfolgende Violett (Absorptionsmaximum bei 417 nm), dem nach einer UV-Transmission die Absorptionskante bei 320 nm folgt. Der β - und γ -Strahl haben ihr Absorptionsmaximum ins Rot verschoben, so daß für diese Strahlen keine Farbwechsel-Eigenschaften auftreten. Die Absorptionsspektren dieses teilweise alexandritartigen Disthens sind detailliert bei BOSSHART et al. (1982) beschrieben. Die Ergebnisse der chemischen und physikalischen Untersuchungen sind in Tab. 1 dargestellt.

Diaspor aus der Türkei

Im Anschluß an das Auftreten größerer Diaspor-Kristalle im Handel befaßten sich SCHMETZER & BARTELKE (1979), BANK (1979) und SCARRATT (1980) mit diesem eher seltenen Schmuckstein. Das Material kam vor etwa vier Jahren aus Milas (Mugla), West-Türkei, nach Europa.

Diaspor (AlOOH) wurde bisher nur in kleinen Kristallen farblos oder mit schwachen, bräunlich bis grünlichen Färbungen gefunden. Eine manganhaltige Varietät aus Süd-Afrika kann allerdings in starken Rottönen auftreten (AREM, 1977). Das Mineral besitzt eine Härte von 6,5–7, hat einen muscheligen Bruch und eine vollkommene Spaltbarkeit nach (010).

SCARRATT (1980) hat auf die Farbwechsel-Eigenschaft des türkischen Diaspors hingewiesen. Das deutlich trichroitische Material erscheint im Tageslicht bräunlichgrün (α : rötlich, β : blaugrün, γ : gelbgrün). Im Glühlampenlicht wechselt der β -Strahl nach rosa und der γ -Strahl nach blaßrosa. Die Absorptionsspektren in den drei Hauptbrechungsrichtungen zeigen folgende Linien und Banden:

α : 690, **546**, **448**, 442, 398, 386 nm
 β : 693, 656, 577, 464, 448, 442, **398**, 371 nm
 γ : 756, 693, 656, 568, 478, 464, 448, 442, 398, 386, 371 nm

Die allgemeine Absorption setzt bei 360 nm ein. In Abb. 1b ist der Verlauf der β -Absorptionskurve abgebildet. Dieser Strahl erfüllt die Regeln für einen Farbwechsel (SCHMETZER et al., 1980), denn ein Absorptionsmaximum liegt mit 577 nm im gelbgrünen Bereich des Spektrums, während genügend starke Transmissionsgebiete im Rot und im Blaugrün (Maximum bei 490 nm) vorliegen. Das Violett wird stark absorbiert (Ma-

Tabelle 2. Chemische und physikalische Daten von farbwechselndem Diaspor aus der Türkei.

Mikrosonden Analyse (Gew.-%)		Lichtbrechungen	
Al ₂ O ₃	80,82	n α : 1,702	
Fe ₂ O ₃	0,30	n β : 1,722	
Pyrospit / Cr ₂ O ₃	0,10	n γ : 1,750	
V ₂ O ₃ *	≤ 0,04	Δn : 0,048	
		Dichte : 3,391 g/cm ³	

* EDS-XRF qualitative Analysen

ximum bei 442 nm). Der γ -Strahl hat kein so ausgeprägtes Absorptionsmaximum bei 560 nm; er zeigt deshalb nur einen sehr schwachen Farbwechsel. Das Absorptionsminimum ist im α -Strahl nach 546 nm ins Grün verschoben. Damit ist ein alexandritartiger Farbwechsel nicht mehr möglich.

Aus dem Absorptionsspektrum läßt sich die Beteiligung von Chrom und Eisen an der Farbe des Diaspors vermuten (Chromlinien und -banden bei 693 und 577 nm, Eisenlinien und -banden im Blau und Violett), wobei der Farbwechsel aufgrund des Chromgehalts zustande käme. Die chemische Analyse bestätigt diese Erwartung (Tab. 2).

Granat vom Umba-Tal, Tansania

Bisher sind zwei Typen von farbwechselnden Granaten aufgetreten. Chromreiche Pyrope (Cr₂O₃ ≥ 4%) zeigen einen Farbwechsel von Blaugrün nach Rotviolett. Pyrop-Spessartin-Grossular-Mischkristalle sind ebenfalls mit Farbwechsel-Eigenschaften bekannt geworden. JOBBINS et al. (1978) beschrieben einen blauen (!) farbwechselnden Granat (Pyrop 47,5%, Spessartin 38,1%, Grossular 8,6%) aus dem Umba-Tal. Er weist einen V₂O₃-Gehalt von 0,75% auf. Eine andere seiner Proben wechselt von khaki-farben nach orangebraun (Tab. 3, 11/1). Der von SCHMETZER (1982a) bearbeitete Pyrop 28,5%-Spessartin 43,6%-Grossular 24,0%-Mischkristall stammt ebenfalls aus dem

Tabelle 3. Chemische und physikalische Daten von farbwechselnden Granaten aus dem Umba-Tal, Tansania, und vom Ratnapura District, Sri Lanka.

Mikrosonden-Analysen (Gew.-%)

	Vorliegende Arbeit	SCHMETZER (1982a)	SCHMETZER & OTTEMANN (1979) „CL“	JOBBINS et al. (1978) „CCG“ blau	„11/1“
SiO ₂	40,80	39,56	38,91	40,30	39,51
TiO ₂	0,27	0,24	0,04	0,05	0,23
Al ₂ O ₃	22,49	22,03	19,43	21,8	22,13
Cr ₂ O ₃	0,11	0,05	1,05	n. f.	0,03
V ₂ O ₃	0,35	0,18	2,08	0,75	0,26
FeO*	2,41	1,53	1,99	1,20	3,27
MnO	19,23	19,94	21,90	18,20	18,27
MgO	8,95	7,41	8,47	12,90	9,31
CaO	7,30	8,88	7,05	5,30	6,85
total	101,63	99,75	100,92	100,50	99,76

* Gesamtes Fe als FeO ausgedrückt

n. f. not found

Lichtbrechungen und Dichten

n:	1,795	1,762	–	1,757	1,760
D[g/cm ³]:	3,846	3,861	–	3,816	3,855

Umba-Tal. Er unterscheidet sich vom vorhergehenden Beispiel durch einen wesentlich höheren Ca-Gehalt, aber einen V_2O_3 -Gehalt (0,18%), der zu gering ist, um einen Farbwechsel zu produzieren. Eigenes Material von der gleichen Fundstelle ist in den Hauptkomponenten nur unwesentlich verschieden (Pyrop 33,1%, Spessartin 41,5%, Grossular 19,9%). Sein Gehalt an V_2O_3 von 0,35% reicht jedoch aus, einen Farbwechsel von olivgelb nach orangebraun sichtbar zu machen. Die Farbe wird zudem noch von 0,12% Cr_2O_3 beeinflusst (siehe Tab. 3). Weitere farbwechselnde Pyrop-Spessartin-Grossular Mischgranate sind aus Sri Lanka bekannt (SCHMETZER & OTTEMANN, 1979; Tab. 3)

Das Absorptionsspektrum der vorliegenden Probe aus dem Umba-Tal wurde spektralphotometrisch aufgezeichnet (Abb. 1c) und zeigte folgende Banden: (690), 572, 524, (504), 482, 459, 429, 421, 409, (392), (schwache Linien in Klammern), allgemein Absorption unterhalb 350 nm. Diese Banden sind zu wenig profiliert, um vom Auge in Handspektroskop erkannt zu werden. Die Absorptionsbande bei 572 nm (gelbgrün) und die beidseitig daran anschließenden Bereiche relativer Durchlässigkeit (rot und grün) sind die Hauptursachen für den leicht erkennbaren Farbwechsel.

Vanadium-haltiger Korund aus Burma

Die Farbursachen der Mineralart Korund sind sowohl an natürlichem als auch an synthetischem Material von verschiedenen Autoren untersucht worden (vergl. SCHMETZER & BANK, 1981). In einzelnen Fällen wurden natürliche farbwechselnde Korund beschrieben, deren Effekt mit einem gewissen Chromgehalt in Zusammenhang stehen. Bei diesen Beispielen ist der Farbwechsel nicht im engeren Sinn alexandritartig (grünrot), sondern wird als Wechsel von Blau nach Rot(violett) geschildert. Dies trifft zu für Korunde aus Kolumbien (BANK et al., 1978), Tansania (SCHMETZER et al., 1980) und Thailand (GÜBELIN & SCHMETZER, 1982). Bei diesen Beispielen werden als färbende Elemente Fe, Ti und Cr genannt. Ein eigentlicher alexandritartiger Farbwechsel (grünrot) mit Cr als Übergangselement kommt nur bei synthetischen Korunden mit etwa 20% Cr_2O_3 zustande (BARKS et al., 1965).

Über einen gräulich-bläulichen Korund, vermutlich aus Sri Lanka, berichtete BANI (1980). Die für den Wechsel verantwortlichen Chromophoren wurden nicht bestimmt. Die bekannten alexandritartigen synthetischen Korunde sind durch Vanadium gefärbt und zeigen einen Farbwechsel von graugrün nach rotviolett. Bei natürlichen Korunden sind solche Farbwechsel, die auf V^{3+} beruhen, kaum beobachtet worden. WEBSTEIN (1975) erwähnte einen Korund aus Burma, der im Absorptionsspektrum eine V-Linie bei 475 nm zeigte. Das hier vorgestellte Beispiel, ebenfalls aus Burma, stellt einen weiteren Vertreter dieser seltenen natürlichen Korunde dar, bei denen neben Vanadium kein anderes Übergangselement farbwirksam hervortritt. Die bei HARDER (1969) beschriebenen Korunde enthielten neben dem V (bis 0,01%) stets noch ein Mehrfaches an Cr, was auf die V-Farbe einen maskierenden Einfluß hat. Der hier beschriebene Stein zeigt bei Tageslicht ein blasses Graugrün, im Glühlampenlicht erscheint er violettrot.

Die qualitative EDS-XRF Untersuchung (STERN & HÄNNI, 1982) zeigte die Spurenelemente Fe, V und Ga an (HÄNNI & STERN, 1982), wobei das letztere wohl kaum farbwirksam ist. Die Farbwechsel-Eigenschaften beruhen hier – wie beim synthetischen alexandritartigen Korund – auf dem V-Gehalt, der in der Synthese zu 0,08% V_2O_3 bestimmt wurde (HARDER 1969). Der Beitrag des Eisens zur Farbe des Korunds ist in die

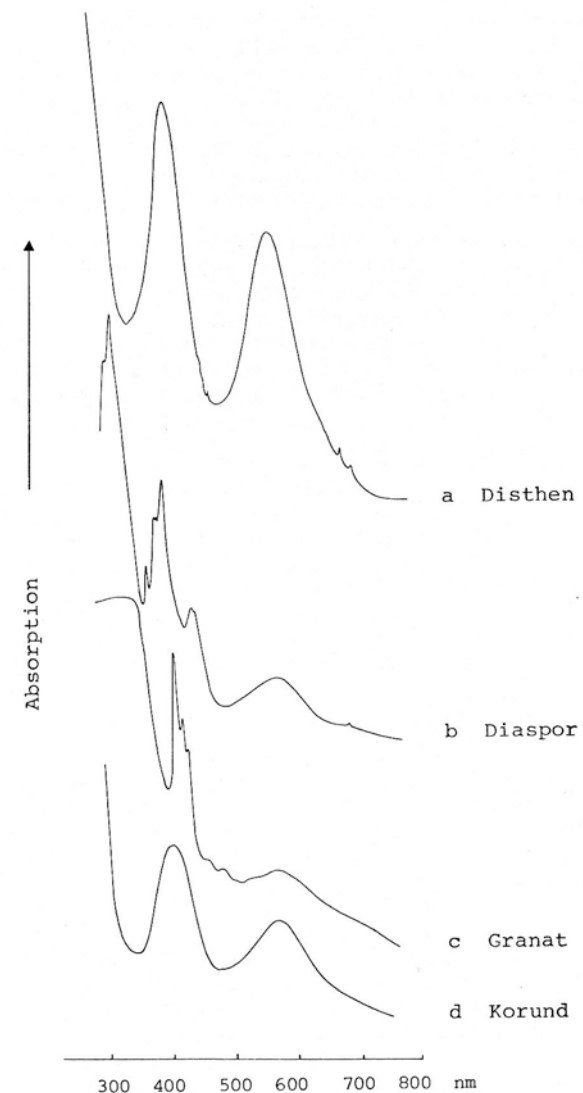


Abb. 1: Orientierte Absorptionsspektren einiger farbwechselnder Edelsteine. *a*: α -Strahl eines Cr-haltigen Disthens aus Kenia, *b*: β -Strahl eines Cr-haltigen Diaspors aus Milas, Türkei, *c*: V-haltiger Pyrop-Spessartin-Grossular-Mischkristall aus dem Umba-Tal, Tansania, *d*: α -Strahl eines V-haltigen Korundes aus Burma. Zu Gewinnung möglichst reiner Spektren werden die Kristalle optisch orientiert und die Spektren mit Polarisationsfilter aufgenommen.

sem Fall nicht bekannt. Das Absorptionsspektrum (Abb. 1 d) ist gekennzeichnet durch zwei starke Absorptionsmaxima bei 399 und 571 nm und eine schwache Linie bei 476 nm, die alle dem V^{3+} zugeordnet werden (WEBSTER, 1975; SCHMETZER, 1982). Die 571 nm-Bande trennt die Transmissionsgebiete von Rot und Grün/Blau; sie ermöglicht damit den Farbwechsel in Zusammenarbeit mit der 399 nm-Bande, welche den unteren Teil vom Blau zum Violett absorbiert. Die Transmission im UV (335 nm) zeigt die Absorptionskante bei 285 nm, die außerhalb des sichtbaren Bereichs liegt und tragen nicht mehr zur Farbe bei.

Die Lichtbrechungen wurden zu $n_o = 1,768$ und $n_e = 1,760$ ermittelt. Diese Werte werden als normal betrachtet, im Gegensatz zu dem von BANK (1979) beschriebenen „changierenden“ Korund aus Sri Lanka mit hoher Lichtbrechung. Einschlüsse traten Heilungsrisse, lange, feine Rutil(?)-Nadeln, winzige prismatische Körner in Gruppen und einzeln, sowie ein größerer Negativkristall und eine Zwillingseinschlüsse auf.

Im langwelligen UV fluoresziert das Material stark orange-gelb, im kurzwelligen UV hingegen nur sehr schwach.

Diskussion

Bei den Chromophoren, die für die Farbwechsel-Eigenschaften der untersuchten Edelsteine verantwortlich sind, handelt es sich, wie zu erwarten war, um Cr und V; Beteiligung Seltener Erden konnte ausgeschlossen werden.

Diese vier farbwechselnden Minerale stellen weitere Beispiele dar, bei denen die bekannten spezifischen Absorptions- und Transmissions-eigenschaften zu einem alexandritartigen bzw. alexandritähnlichen Phänomen führen. Allerdings ist der Farbwechsel nicht in allen Fällen dominant hervortretend. Dies muß nicht allein Ausdruck einer geringen Menge an entsprechenden Spurenelementen sein. Die richtungsabhängige Schiedensfarbigkeit (Pleochroismus) läßt den Fall einer teilweisen Alexandritartigkeit so erfüllt beispielsweise im untersuchten Disthen nur der α -Strahl die Bedingungen für das Auftreten des Effekts. Da die Farben der anderen Strahlen zudem stärker gesättigt sind, tritt der Farbwechsel bei einer unvoreingenommenen Betrachtung nicht sofort in den Vordergrund.

Bei nicht sehr exakter Erfüllung der Alexandritartigkeits-Bedingungen (leichte Abweichungen in Lage und Stärke der Absorptions- und Transmissionsgebiete) treten Farben auf, die bei Alexandriten nicht beobachtet werden. Ein Beispiel dazu ist der hier beschriebene Granat. Es stellt sich damit die Frage, ob Farbwechsel allgemein als alexandriteffekt zu bezeichnen sei, oder ob der erste Begriff dem zweiten übergeordnet sein soll. Eine konsequente Verwendung der Begriffe wird momentan nicht beobachtet.

Verdankungen

Folgende Herren haben in verdankenswerter Weise ihr interessantes Material zur Verfügung gestellt und damit diese Untersuchung ermöglicht: Dr. N. Barot, Naivasha, Dr. M. Satir, Tübingen, W. Spaltenstein, Bangkok. Den Herren Prof. Dr. H. Schwab und P. D. W. B. Stern vom Mineralogischen Institut der Universität Basel, welche chemischen Analysen durchgeführt haben, danke ich für ihre Unterstützung.

Literatur

- AREM, J. E. (1977): Color encyclopedia of gemstones. – New York, Van Nostrand Reinhold Company.
- BANK, H. (1979): Geschliffener Diaspor und die gemmologische Diagnostik. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **28**, 73–77.
- BANK, H. (1980): Schleifwürdiger smaragdgrüner Kyanit (Disthen) aus Tansania. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **29**, 191–192.
- BARKES, R. E., ROY, D. M. & WHITE, W. B. (1965): Sub-solidus equilibria in the system $Al_2O_3-Cr_2O_3$ and spectra of crystalline solutions. – Bull. Amer. Ceram. Soc. **44**, 317–319.
- BOSSHART, G., FRANK, E., HÄNNI, H. A. & BAROT, N. (1982): Blue colour-changing Kyanite from East Africa. – J. Gemm. **18**, 205–212.
- GÜBELIN, E. & SCHMETZER, K. (1982): Gemstones with alexandrite effect. – Gems and Gemology **18**, 15–18.
- HÄNNI, H. A. & STERN, W. B. (1982): Über die Bedeutung des Gallium-Nachweises in Korunden. – Z. Gemmol. Ges. **31**, 255–260.
- HARDER, H. (1969): Farbgebende Spurenelemente in den natürlichen Korunden. – M. Jb. Miner. A **128**–141.
- JOBBINS, E. A., SAUL, J. M., STATHAM, P. M. & YOUNG, B. R. (1978): Studies of a gem garnet suite from the Umba river Tansania. – J. Gemm. **16**, 161–171.
- LIDDICOAT, R. T. (1973): Rich blue Kyanite. – Gems & Gemology **14**, 254.
- SCARRATT, K. (1980): Faceted Diaspore. – J. Gemm. **17**, 145–148.
- SCHMETZER, K. (1978): Vanadium III als Farbträger bei natürlichen Silikaten und Oxiden – ein Beitrag zur Chemie des Vanadiums. – Diss. Univ. Heidelberg.
- SCHMETZER, K. (1982a): Ein ungewöhnlicher Granat aus dem Umba Tal. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **31**, 125–130.
- SCHMETZER, K. (1982b): Absorptionsspektren und Farben Vanadium- und Chromhaltiger Minerale. – Z. Gemmol. Ges. **31**, 125–130.
- SCHMETZER, K. & BARTELKE, W. (1979): Schleifwürdiger Diaspor aus der Türkei. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **28**, 146–168.
- SCHMETZER, K. & OTTEMANN, J. (1979): Kristallchemie und Farbe Vanadiumhaltiger Granate. – N. Jb. Miner. Abh. **136**, 146–168.
- SCHMETZER, K. & BANK, H. (1981): Die Farursachen und Farben der Mineralart Korund. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **30**, 152–156.
- SCHMETZER, K., BANK, H. & GÜBELIN, E. (1980): The Alexandrite Effect in Minerals: Chrysoberyl, Garnet, Fluorite. – N. Jb. Miner. Abh. **138**, 147–164.
- STERN, W. B. & HÄNNI, H. A. (1982): Energy dispersive X-ray spectrometry: a non-destructive tool in gemmology. – J. Gemm. **18**, 285–296.
- WEBSTER, R. (1975): Gems. – London, Butterworths.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 18. Mai 1983.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Henry A. Hänni, Mineralogisches Institut der Universität Basel, Bernoullistrasse 30, CH-4056 Basel, Schweiz und
Schweizerische Stiftung für Edelsteinforschung, Löwenstrasse 17, CH-8001 Zürich, Schweiz.

