

GRANATE – EINE FARBENFROHE EDELSTEIN-FAMILIE

Dr. Henry A. Hänni,
Schweizerische Stiftung für Edelstein-Forschung (SSEF), Zürich

Granate überraschen uns immer wieder mit ihrer grossen Vielfalt an Farben und mit einem breiten Band ihrer gemmologischen Kenngrössen von Lichtbrechung und Dichte. Dieser Artikel soll die einzelnen Granat-Arten vorstellen und dabei Gemeinsames sowie Unterschiedliches aufzeigen.

Idealisierte reine Granate

Jedes Mineral ist durch seine Kristallstruktur (innerer Bauplan) und durch seine chemische Zusammensetzung (Baumaterial) definiert. Die einzelnen Bausteine sind Ionen. So bezeichnet man die positiv oder negativ geladenen Atome der verschiedenen Element-Sorten, welche die Kristallstruktur besetzen. Bei der Kristallisation ordnen sich die Ionen nach dem Granat-Bauplan zu einem Kristall, an dem man kubische Symmetrie erkennt. Obwohl allen Granaten der gleiche Bauplan zugrunde liegt, können die Kristallgebäude mit unterschiedlichen, in ihrem Atombau jedoch ähnlichen chemischen Elementen aufgebaut werden. Durch diese Variationsmöglichkeit im Baumaterial kommt ein grosser Variantenreichtum an Granat-Arten und -Varietäten zustande.

An natürlichen Granaten wurde untersucht, welche chemischen Elemente am Aufbau beteiligt sind und in welchen Mengenverhältnissen sie zueinander stehen. Die Ergebnisse lassen sich am besten in der Form einer chemischen Formel darstellen. Eine Formel gibt wie ein Rezept wieder, welche Elemente (als einzelne Ionen) vorliegen und in welchen Zahlenverhältnissen sie zueinander stehen. Das Verhältnis wird angegeben durch die kleine Zahl (Index), die am Fuss der Abkürzung für das Element steht. In einem Kristall von sichtbarer Grösse ist die Mineralformel milliardenfach enthalten. Die kleinstmögliche Granatmenge wird durch nur gerade **eine** Formeleinheit gebildet. Sie wird auch als Molekül bezeichnet. Ein grösserer Kristall besteht daher aus vielen Milliarden von Granat-Molekülen. Für die Beschreibung der Edelstein-Granate sind die folgenden idealisierten, chemisch reinen Zusammensetzungen (chemische Endglieder) von Bedeutung:

Die wichtigsten Granat-Arten

PYROP	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	(farblos)
ALMANDIN	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	(dunkel braunrot)
SPESSARTIN	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	(gelb-orange)
GROSSULAR	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	(farblos)
ANDRADIT	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$	(gelbgrün)
UWAROWIT	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$	(grün-schwarz)

Diese chemisch reinen Arten existieren höchstens als synthetische Kristalle. Realkristalle aus der Natur sind in ihrer Zusammensetzung «unrein» und repräsentieren Übergänge zwischen den einzelnen idealen Arten.

Nach den chemischen Formeln können die Granate in zwei Gruppen eingeteilt werden. Man benennt diese nach den Anfangsbuchstaben der Gruppen-Mitglieder. Die PYRALSPIT-Gruppe wird gebildet durch die Aluminium-haltigen Granate Pyrop, Almandin und Spessartin. Die UGRANDIT-Gruppe besteht aus den Calcium-haltigen Granaten Uwarowit, Grossular und Andradit. Grossular als Ca-Al-Granat besitzt die Merkmale beider Gruppen.

Wenn man sich nach den Gemeinsamkeiten dieser doch recht unterschiedlichen Granat-Arten fragt, so fallen neben der einheitlichen Kristallstruktur die chemische Verwandtschaft der eingebauten Ionen auf. Alle Formeln enthalten:

- 3 zweiwertige Ionen (z.B. Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+})
- 2 dreiwertige Ionen (z.B. Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+})
- 3 SiO_4 -Baugruppen (können auch als Si_3O_{12} geschrieben werden).

Ausser den aufgezählten Granat-Arten sind noch weitere Typen vorstellbar.

Es gibt noch andere Kombinationen von Elementen, deren Ionen der allgemeinen Granatformel gerecht werden. So hat man z.B. **Knorringit** ($Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$) und **Goldmanit** ($Ca_3V_2Si_3O_{12}$) synthetisch hergestellt. Darüber hinaus stellt man künstlich auch **silikاتفreie Granate** her, die z.T. als Diamant-Ersatz bekannt wurden. Als Beispiele hier nur YAG ($Y_3Al_2Al_3O_{12}$) und GGG ($Gd_3Ga_2Ga_3O_{12}$).

Aufgrund ihrer typischen chemischen Zusammensetzung besitzt jede der idealisierten reinen Granat-Arten charakteristische physikalische Werte:

Physikalische Eigenschaften der idealisierten reinen Granat-Arten (chemische Endglieder)

	Härte	Dichte	Lichtbrechung
Pyrop	7¼	3.58 g/cm ³	1.714
Almandin	7½	4.32	1.830
Spessartin	7¼	4.19	1.800
Grossular	7½	3.59	1.734
Andradit	7½	3.86	1.887
Uwarowit	7½	3.85	1.865

Die Mischkristall-Bildung

Die oben beschriebenen chemisch reinen Endglieder entsprechen einer theoretisch idealen Zusammensetzung, die in der Natur kaum vorkommt. Fast immer sind natürliche Granate Mischungen aus Endgliedern. Wenn in der Natur Granate kristallisieren, sind im allgemeinen mehrere zweiwertige und dreiwertige Ionensorten verfügbar. Ein natürlicher Granat wird darum zur Realisierung seines Bauplans beispielsweise die Verwendung von Mg^{2+} und Fe^{2+} gleichzeitig zulassen. Es bilden sich dabei Pyrop-Moleküle und Almandin-Moleküle. In diesem Fall entsteht ein sog. Mischkristall, dessen Zusammensetzung entsprechend den Anteilen von Pyrop und Almandin irgendwo zwischen den beiden Endgliedern liegt. Pyrop und Almandin sind miteinander lückenlos in jedem Mengenverhältnis mischbar. Sie können eine Mischkristallreihe bilden. In Abb. 1 ist die Abhängigkeit der Lichtbrechungs- und Dichtewerte vom Mischungsverhältnis zwischen Pyrop und Almandin

dargestellt. Die Werte für Mischkristalle liegen zwischen den Extremwerten für die reinen Endglieder.
 Beim geschilderten Beispiel besteht die Mischung aus nur zwei Komponenten, d.h. nur aus Pyrop- und Almandin-Molekülen. Die allermeisten natürlich vorkommenden Granate sind Mischkristalle, die aus zwei oder mehreren Endgliedern (mit unterschiedlichen Anteilen an der Mischung) zusammengesetzt sind. Mischkristalle sind in der Regel optisch homogene Gebilde. Man kann sie als fest gewordene Lösungen verstehen: im mittleren Stein von Abb. 1 sind 40% Almandin-Moleküle in 60% Pyrop «gelöst». Nicht jede Granat-Art ist mit allen anderen Arten unbegrenzt mischbar. Man hat festgestellt, dass die Granate der Pyralpspit-Gruppe untereinander weitestgehende Mischbarkeit zeigen. Ebenso sind die Granate der Ugrandit-Gruppe untereinander mischbar. Mitglieder aus den zwei verschiedenen Gruppen sind jedoch nur zu einem geringen Teil miteinander mischbar. Bereiche von Mischungsverhältnissen, die in der Natur nicht vorkommen, bezeichnet man als Mischungslücken.

Abb. 2. zeigt den Versuch einer Darstellung der Mischbarkeitsmöglichkeiten unter den wichtigsten Granat-Arten. Die Länge jedes Pfeils zu einem anderen Endglied soll das Ausmass der entsprechenden Mischbarkeit andeuten. In dieser graphischen Form können Mischungen aus drei oder mehreren Endgliedern (wie sie in der Natur durchaus häufig vorkommen) nicht dargestellt werden.

Reale Edelstein-Granate

Im folgenden werden ein paar Beispiele herausgegriffen und näher vorgestellt. Das Prinzip der Mischbarkeit zweier chemischer Zusammensetzungen mit der gleichen Kristallstruktur ermöglicht, eine grosse Vielfalt an Mischkristallen hervorzubringen. Dabei sind deren Farben, Lichtbrechungen und Dichten ebenfalls als Mischresultate aus den Einflüssen der beteiligten Endglieder zu sehen. Welche Art bei einer Granatkristallisation entsteht, hängt vom Stoffangebot bzw. von lokalen geologischen Faktoren und von physikalisch-chemischen Faktoren ab. Den korrekten Benennungen der einzelnen Granate sind oft chemische Analysen mit zerstörungsfreien Methoden vorausgegangen. Die Resultate lassen nun quantitative Angaben der verschiedenen Endglieder-Anteile zu.

Pyrop-Almandin-Granate

Die am meisten verbreiteten Granate sind rote Steine aus der Pyrop-Almandin-Mischkristallreihe (Abb. 3). Ein gefälliges Rot ergibt sich, wenn im farblosen Pyrop 10–40% Almandin-Anteile enthalten sind. Bei höheren Almandingehalten werden die Mischungen zu dunkel. Denn reiner Almandin ist sehr dunkel braunrot.

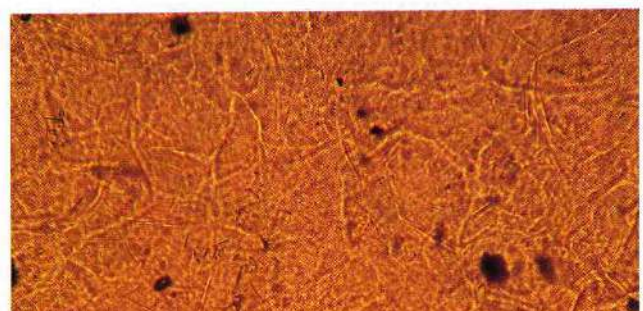
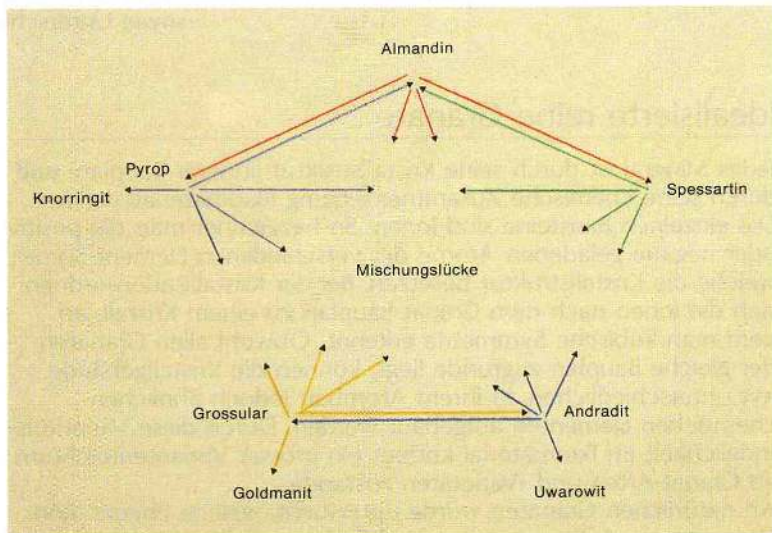
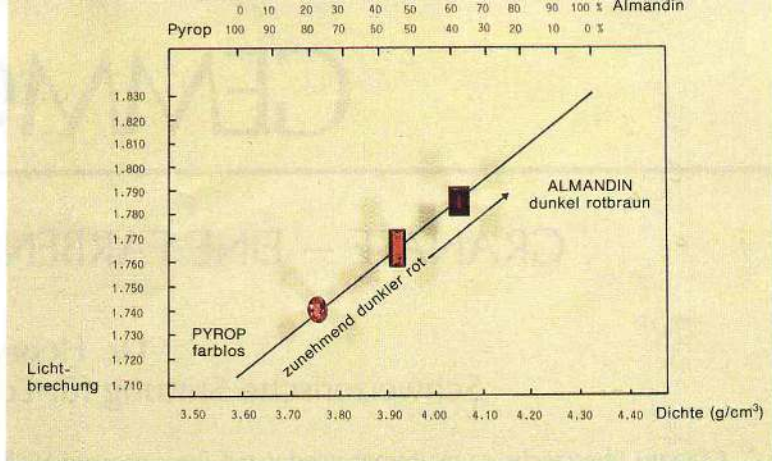
Abb. 1 Abhängigkeit von Dichte und Lichtbrechung vom Mischungsverhältnis in der Pyrop-Almandin-Mischkristallreihe.

Abb. 2 Darstellung der Mischbarkeit unter den Pyralpspit- und den Ugrandit-Granaten. Zwischen den beiden Gruppen besteht eine weitgehende Mischungslücke.

Abb. 3 Granate der Pyrop-Almandin-Mischkristallreihe. Der ovale Stein in der Mitte repräsentiert die Farbvarietät Rhodolith.

Abb. 4 Grossulare (links), Grossularite (hinten) und Hessonite (rechts) verdanken ihre Farbe kleinen Beimischungen von anderen, farbigen Granat-Arten. Die grünen Steine sind Tsavolithe (Vanadium- bzw. Chrom-Grossulare).

Abb. 5 Hessonit in einer mikroskopischen Durchlicht-Aufnahme zeigt eine schlierige Struktur, die auf dem körnigen Aufbau der Steine beruht.





Rhodolithe (eine helle, violett-rote Pyrop-Almandin-Varietät) besitzen 10–25% Almandin-Anteile. Schon wenige Prozente an Almandin-Molekülen haben eine starke Färbewirkung. Darum sind bereits bei hellen Rhodolithen im Absorptions-Spektrum die Almandinbanden bei 575, 527 und 505 nm zu erkennen. Pyrop, der im reinen Zustand farblos ist, kann ausser mit Almandin auch durch andere eigenfarbige (idiochromatische) Granat-Arten gefärbt sein. Mit Pyrop mischbar sind die idiochromatischen Arten Spessartin (gelb) und Knorringit (rot). Der blutrote **Chrom-Pyrop** enthält einen kleinen Anteil an Knorringit-Molekülen ($Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$). Einige Granate, die vorwiegend aus Pyrop-Almandin-Mischungen bestehen, enthalten dazu noch einige Prozente Grossular, Spessartin oder wenig Andradit, wobei die beiden letzteren einen Einfluss auf die Farbe ausüben können.

Grossulare und Grossularite

Grossular ist im reinen Zustand farblos. Durch Beimischungen von idiochromatischen Granat-Arten entstehen fremdgefärbte (allochromatische) Mischkristalle mit roten, gelben, grünen und braunen Färbungen (Abb. 4). Als farbgebende Moleküle stehen Almandin, Andradit, Uwarowit und Goldmanit im Vordergrund. Kleine Anteile an eisenhaltigen Arten (Almandin, Andradit) führen, da sie oft in Kombination vorhanden sind, zu rötlichen, orangen und braunen Färbungen. **Hessonite** sind Vertreter dieser Grossular-Varietät. Sie zeigen als optische Besonderheit fast immer eine körnige Struktur, die mikroskopisch als Schlierigkeit auffällt. Die körnige Struktur ist begründet in einem polykristallinen Aufbau von Hessonit (Abb. 5 + 6). Hessonite sind demnach keine Einzelkristalle, sondern polykristalline Gefüge, wie sie auch bei anderen Grossularen beobachtet werden. Für diese Ausbildung ist korrekterweise der Name **Grossularit** zu verwenden. Grossulare können auch in grünen Varietäten polykristalline Ausbildung haben. So sind grüne Grossularite (bzw. Hydrogrossularite) unter dem Namen «Transvaal-Jade» bekannt geworden. Manche Grossularite sind nicht monomineralisch nur aus Grossularkörnern aufgebaut, sondern enthalten noch weitere Mineralien, z.B. Vesuvian oder Chromit. Sie werden damit als Gesellschaft verschiedener Mineralien zum **Gestein**.

Man erkennt in dieser Abfolge Variationsmöglichkeiten, die sich vom Grossular-Monokristall bis zum grossularhaltigen Gestein hinziehen. Dabei können sich die Dichtewerte um einiges von denen für reinen Grossular entfernen.

Die gegenwärtig bedeutendsten Grossulare sind die grünen **Tsavolithe**. Diesen Namen verdanken sie ihrer Hauptfundstelle, die im Tsavo-Nationalpark in Kenya liegt. Tsavolithe sind entweder

Abb. 6 Raster-elektronenmikroskopische Aufnahme einer Hessonit-Bruchfläche (Länge des schwarzen Balkens 0,1 mm). Das körnige, polykristalline Gefüge ist erkennbar. Herkunft des gelben Rohsteines ist Ost-Afrika.

Abb. 7 Spessartine und spessartinreiche Granate, Aufnahme im Glühlampenlicht. Die Steine in der vorderen Reihe haben einen kleinen Gehalt an Vanadium.

Abb. 8 Die gleichen Steine wie Abb. 7, jedoch mit blaureichem Kunstlicht aufgenommen. Die Steine der vorderen Reihe zeigen einen alexandritartigen Farbwechsel.

Abb. 9 Granate aus dem Umba-Tal (Tanzania). Diese Beispiele sind aus den drei Hauptbestandteilen Pyrop, Almandin und Spessartin in unterschiedlichen Anteilen zusammengesetzt. Im Handel werden sie oft als Malaia-Granate oder Umbalithe bezeichnet.

Abb. 10 Demantoid aus dem Ural (USSR). Die Eigenfarbe des Andradits wird hier durch einen kleinen Uwarowit-Anteil mit Grün überlagert. Die Art-typischen Byssolith-Fasern sind gut sichtbar.

durch eines oder beide der Elemente Vanadium oder Chrom gefärbt. Diese sind im Grossular als Goldmanit ($\text{Ca}_3\text{V}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$)- oder Uwarowit ($\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$)-Moleküle untergebracht. Beide haben eine smaragdgrün färbende Wirkung. Meistens herrscht Vanadium jedoch mengenmässig vor.

Spessartine und spessartinreiche Granate

Reiner, gelber Spessartin kommt in der Natur nur selten in schleifbarer Grösse vor. Ein kalifornisches Vorkommen liefert helle orange-gelbe Steine mit über 90% Spessartingehalt. Häufiger trifft man almandinhaltige Spessartine, die durch den Almandin-Anteil dunkelorange bis rötlichbraun gefärbt sind. Anhand der Lichtbrechung und der Dichte können Almandin-Spessartine nicht von Pyrop-Almandinen unterschieden werden. Am geeignetsten ist eine Untersuchung im Spektroskop, um einen höheren Spessartingehalt anzuzeigen. Dieser äussert sich durch das Auftreten der Absorptionsbanden bei 432, 424 und 412 nm. Bei Steinen mit sehr hohen Spessartingehalten werden auch die weniger starken Linien bei 573, 520, 504 und 480 nm sichtbar. In Abb. 7 zeigt die hinterste Reihe die reinsten Spessartine: der Rohstein stammt aus den Taita Hills (Kenya) und derjenige mit dem achteckigen Treppenschliff kommt aus Ramona, Kalifornien (USA).

Mischkristalle bildet Spessartin gerne mit Pyrop, Almandin und Grossular. Eine ganz besondere Erscheinung zeigen in seltenen Fällen Spessartin-Pyrop-Mischkristalle mit Spuren von Vanadium. Im blau-reichen Tageslicht erscheinen sie blaugrün oder olivgrün, im rot-reichen Glühlampenlicht sind sie violett oder bräunlichrot. Sie vollziehen also einen Farbwechsel ähnlich wie die Chrysoberyll-Varietät Alexandrit.

Einige Beispiele der beschriebenen Steine zeigt Abb. 8.

Pyralspit-Mischgranate

Aus dem Umba-Tal in Tanzania sind Mischgranate aus der Pyralspit-Gruppe mit geringen Anteilen an Grossular bekannt geworden. Die orangefarbenen bis rotbraunen Mischkristalle bestehen hauptsächlich aus Pyrop (40–70%) und gelbem Spessartin (15–40%). Almandin als Nebenbestandteil (5–20%) leistet einen roten Farbbeitrag. Im Handel werden solche Pyralspit-Granate als «Umbalith» oder «Malaia-Granate» bezeichnet (Abb. 9).

Andradit und Demantoid

Keiner Andradit ist idiochromatisch gelbgrün und besitzt eine starke Dispersion. Dieses Feuer hat ihm den Namen Demantoid (diamantartig) eingetragen. Eine Fundstelle im Ural lieferte bis Anfang dieses Jahrhunderts Demantoide von Edelsteinqualität. Seit langem ist diese Quelle nun schon erschöpft und russische Demantoide werden von Liebhabern wie seltene Briefmarken gesucht. Bei einem Teil der Steine wird die Dispersion überlagert durch smaragdgrüne Farbe. Diese allochromatische Färbung hat ihre Ursache in einem kleinen Chromgehalt bzw. einer Uwarowit-Komponente (Abb. 10). Andradite von anderen Lokalitäten sind eher gelblich und werden dann meist als Topazolithe bezeichnet.

Schlussbetrachtung

Granate bilden eine faszinierende Mineralgruppe, die uns Edelsteine mit unterschiedlichstem Aussehen beschert. Transparente Einkristalle in allen Farben ausser einem reinen Blau werden gefunden und facettiert. Die meisten dieser Farben kommen durch natürliche Mischung verschiedener Arten während der Kristallisation zustande. Durch die Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen farbigen und farblosen Arten (zu zweien oder mehreren) entsteht eine weite Farbpalette. Polykristalline Aggregate

(massive Ausbildung) und Steine mit potentiell Asterismus empfehlen sich als Cabochon-Material. Eine Andradit-Almandin-Mischung aus Nevada (USA) zeigt sogar ein prächtiges opalartiges Farbenspiel.

Bei dieser Vielfalt an Möglichkeiten ist zu erwarten, dass gelegentlich Benennungsprobleme auftreten. Da die Farbe eine hervorstechende Eigenschaft vieler Edelsteine ist, bezeichnen manche Namen eine bestimmte Farbvarietät (Rhodolith, Tsavolith). Die bekannten farbgebenden chemischen Elemente können jedoch unterschiedliche Granat-Arten in gleicher Weise färben. So treffen wir manchmal auf gleichfarbige Steine von unterschiedlicher mineralogischer Identität. Chromgrossular, Vanadiumgrossular und Chromdemantoid illustrieren diesen Sachverhalt deutlich.

Die korrekte Bezeichnung von Granat-Mischkristallen erfordert in einigen Fällen eine aufwendige, zerstörungsfreie chemische Analyse zur Feststellung der Endglied-Anteile. Auf solche Weise ermittelte Namen sind mineralologisch richtig und **im Einklang mit den gemmologisch erfassbaren Messgrössen** Lichtbrechung und Dichte. Sie können jedoch einen Edelsteinfreund gelegentlich überfordern. Vom Handel werden gerne wohlklingende Phantasienamen oder Lokalitätsbezeichnungen verwendet, was zu Mehrspurigkeiten und einer unnötigen Namensflut führen kann. Für den Fall eines hell-orangefarbenen Malaia-Granats bzw. Umbaliths mit der Zusammensetzung Pyrop 45% Spessartin 35% Almandin 11% Grossular 9% könnte auch der Name Pyralspit-Granat seine Gruppenzugehörigkeit korrekt ausdrücken. Für diesen Stein wäre auch die Bezeichnung «spessartinreicher Pyrop» richtig. Seine Farbe wäre damit aber nicht zu erraten und die Beigabe einer Farbbezeichnung wäre hilfreich. Die einfachste und sicher richtige Bezeichnung ist wohl «orangefarbener Granat». Diese Bezeichnung schliesst jedoch auch die gleichfarbigen Spessartine und Hessonite ein.

Eine Klassifikation der Granate unter Berücksichtigung der mit gemmologischen Instrumenten erfassbaren Messgrössen wurde neu von STOCKTON, C.M. & MANSON, D.V. (1985) vorgeschlagen. Auf dem darin empfohlenen Weg lassen sich sinnvolle Bezeichnungen für Edelstein-Granate ableiten.

Verdankungen

Ich danke Herrn Prof. Dr. H. Schwander (Mineralogisches Institut der Universität Basel) für seine Unterstützung bei der Analyse zahlreicher Granatproben. Herrn W. Spaltenstein, Bangkok, bin ich für die Vermittlung von Material aus Ost-Afrika zu Dank verpflichtet. Herrn M. Düggelin, Labor für Raster-Elektronenmikroskopie der Universität Basel, verdanke ich die REM-Aufnahme von Hessonit. Meinem Kollegen G. Bosshart, dipl. Min. ETH, SSEF Zürich, danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Weiterführende Literatur

- Akizuki, M., Nakai, H., Suzuki, T. (1984): The origin of iridescence in grandite garnet. – *Am. Mineral.* **69**, 896–901.
Gübelin, E. (1981): Einschlüsse im Granat aus dem Umba-Tal. – *Z. Dt. Gemmol. Ges.* **30**, 182–194.
Gübelin, E.J., Koivula, J.I. (1986): Bildatlas der Einschlüsse in Edelsteinen. – ABC-Verlag, Zürich.
Jobbins, E.A., Saul, J.M., Statham, P.M., Joung, B.R. (1978): Studies of a gem garnet suite from Umba River, Tanzania. – *J. Gemm.* **16**, 161–171.
Meagher, E.P. (1980): Silicate Garnet. – In «Reviews in Mineralogy», Vol. 5, Orthosilicates. Min. Soc. Am.
Schmetzer, K., Bank, H. (1981): Granate aus dem Umba-Tal, Tanzania – Ist ein neuer Varietätsname erforderlich? – *Z. Dt. Gemmol. Ges.* **30**, 177–181.
Stockton, C.M., Manson, D.V. (1985): A proposed new classification for gem-quality garnets. – *Gems & Gemology*, Winter, 205–218.