Rosa bis rosa-orangefarbene Malaya-Granate aus Bekily, Madagaskar

Dr. Karl Schmetzer, Thomas Hainschwang, Dr. Lore Kiefert und Dr. Heinz-Jürgen Bernhardt

Aus dem Gebiet um Bekily im Süden von Madagaskar sind attraktive farbwechselnde Granate bekannt geworden, die bei Tageslicht blaugrün, bei Kunstlicht rotviolett gefärbt sind (vgl. Goldschmiede Zeitung, Vol. 98, 2000, Nr. 9, S. 75–77). Aus dieser Gegend stammen auch rosa bis rosa-orangefarbene Granate (Abb. 1), die erstmals um 1997 auf dem lokalen Markt in Madagaskar angeboten wurden.

Pyrop-Spessartin-Mischkristalle, welche nur geringe Spuren von Vanadium und Chrom enthalten, wurden in den Farben Rosa bis Rot oder Orange und sogar Gelborange beschrieben. Bis vor kurzem war das umfangreiche Minengebiet in Ostafrika, das diverse Lokalitäten im nördlichen Tansania und südlichen Kenia umfasst und im Allgemeinen als die „Umba-Minenregion" bezeichnet wird, die einzige kommerzielle Quelle für diesen Granattyp. Die Pyrop-Spessartin-Granate in diesen Farben wurden unter diversen Handelsnamen wie „Malaya" oder „Malaia", „Umbalit" und „Pyralspit" beschrieben, aber nur die Bezeichnung „Malaya" ist international im Handel und in der edelsteinkundlichen Literatur gebräuchlich. Beschränkte Mengen an Rohmaterial werden noch immer im nördlichen Tansania abgebaut und gelangen als Malaya-Granat auf den Markt (Karl Egon Wild, pers. Mitt., 2001).

In diesem Artikel wird die Bezeichnung Malaya für Granate verwendet, die rosa bis rosa-orange, seltener orange bis rot gefärbt sind und hauptsächlich aus den Granatendgliedern Pyrop und Spessartin bestehen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass es sich bei dieser Bezeichnung um einen Handelsnamen für Granate bestimmter Farben handelt, für den bis heute keine klare Definition, basierend auf einer genauen chemischen Zusammensetzung, etabliert wurde. Insbesondere wurden keine eindeutigen Grenzen zum Pyrop und zum Spessartin des Handels festgesetzt.

Die vorliegende Studie charakterisiert rosa bis rosa-orangefarbene Granate aus dem Abbaugebiet nahe Bekily. Die von dort stammenden intermediären Pyrop-Spessartine machen diese Lokalität, soweit es uns bekannt ist, zur zweiten kommerziellen Quelle von Malaya-Granaten weltweit. Proben von rosafarbenen bis roten Malaya-Granaten in ihrem Muttergestein wurden ebenfalls untersucht, zum Vergleich dienten facettierte Proben von Pyrop-Almandin und Spessartin-Almandin, welche weitere Farben kommerziell erhältlicher Granate aus Madagaskar repräsentieren. Zuletzt wurden die Proben aus Madagaskar mit Malaya-Granaten aus dem Umbagebiet in Ostafrika verglichen.

Aufnahme Maha Tannous, Kunstlicht

Abb. 1 Malaya-Granate aus Bekily, Madagaskar, sind überwiegend Glieder der Mischkristallreihe Pyrop-Spessartin. Die Farbe dieser sechs facettierten Granate (2,94 – 4,06 ct) ist typisch für mehr als 97% der kommerziell erhältlichen Malaya-Granate aus diesem Vorkommen.

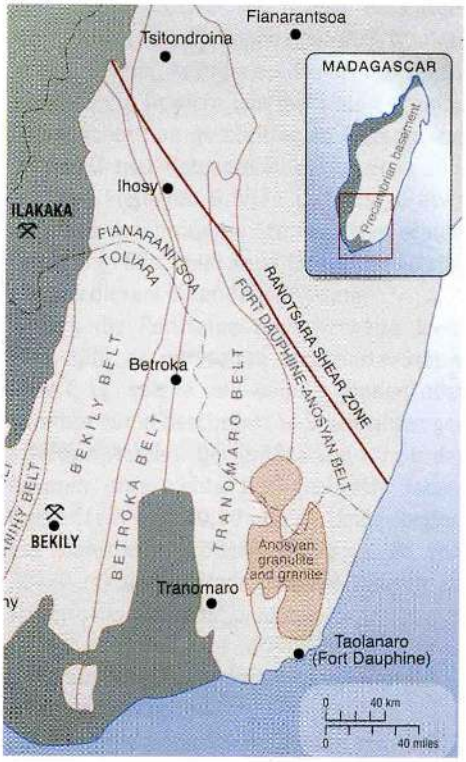


Abb. 2 Malaya-Granate werden in einem Gebiet nördlich von Bekily, das in der Provinz Toliara im Süden Madagaskars gelegen ist, abgebaut. Dieses Gebiet umfasst hochgradig metamorphe Gesteine, welche in sechs tektonische Zonen unterteilt werden. Der Bekily-Gürtel besteht hauptsächlich aus Sillimanit-Cordierit-Granat-Gneisen. Modifiziert nach Windley et al. (1994).

Der vorliegende Artikel, welcher in englischer Originalfassung in der Zeitschrift Gems & Gemology, Vol. 37, No. 4 (2001), pp. 296–308 erschienen ist, enthält eine ausführliche gemmologische Beschreibung des Materials aus Bekily. Der an weiteren Details interessierte Leser, z. B. an ergänzenden chemischen und spektroskopischen Daten, welche über den Rahmen dieser Publikation hinausgehen würden, sei auf diese Arbeit verwiesen.

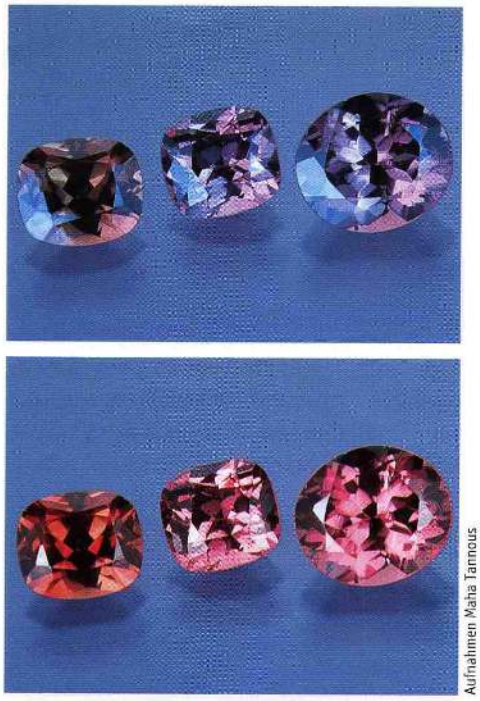
Vorkommen und Geologie

Die Ortschaft Bekily liegt etwa 200 km nordwestlich von Taolanaro (ehemals Fort-Dauphin) in der südlichen Toliara-Provinz Madagaskars (Abb. 2). Das Abbaugebiet der farbwechselnden Granate, die kürzlich beschrieben wurden (siehe oben), liegt ungefähr 15 km nördlich von Bekily. Die Malaya-Granate, die für den vorliegenden Artikel untersucht wurden, stammen aus der Region zwischen Bekily und den Minen, welche die farbwechselnden Granate produzieren.

Die Geologie der Gegend um Bekily umfasst eine Serie präkambrischer, hochgradig metamorpher Gesteine (Migmatite, Glimmerschiefer und Gneise), die lokal auch Graphit enthalten können. Mehrere tektonische Zonen – die auch als Gürtel bezeichnet werden – sind in dieser Region nachgewiesen. Die Granatminen befinden sich in dem so genannten Bekily-Gürtel, der hauptsächlich aus Sillimanit-Cordierit-Granat-Gneisen besteht, welche von hochgradig metamorph überprägten Sedimentgesteinen abstammen.

Abbau und Produktion

Seit der Entdeckung des Vorkommens 1997 bis Mitte 1999 war nur eine beschränkte Menge an Rohmaterial erhältlich. Die Produktion



Aufnahmen Maha Tannous

Abb. 3 a,b Malaya-Granate aus Madagaskar (0,74–1,59 ct) zeigen eine deutliche Farbverschiebung von Rosa oder Rosa-Orange bei Tageslicht (oben) zu einem intensiveren Rosa oder Orangerot im Kunstlicht (unten). Mikrosondenanalysen der vier abgebildeten Proben ergaben FeO-Gehalte von 6,65 bis 9,89 Gew.-%, und MnO-Gehalte von 10,39 bis 15,95 Gew.-%.

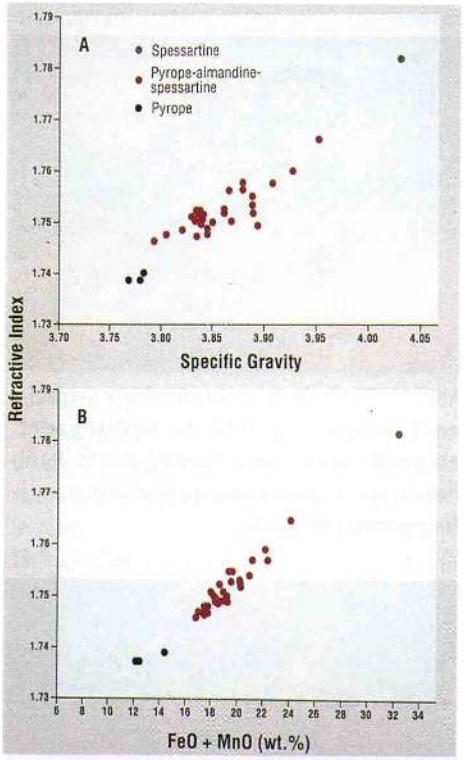


Abb. 4 Die 31 facettierten Proben aus Bekily zeigten eine positive Korrelation zwischen Brechungsindex und Dichte (Diagramm A). Die Fe- und Mn-armen Pyrope zeigen die niedrigsten Werte, der Mg-reiche Spessartin besitzt die höchsten Werte. Eine positive Korrelation zwischen dem Brechungsindex und der Summe der Eisen- und Mangangehalte (FeO + MnO) wird ebenfalls deutlich (Diagramm B).

begann im Sommer 1999 anzusteigen, sie steigerte sich weiter bis in den Herbst 2000 (einige zehn Kilogramm an schleifwürdigem Material wurden abgebaut). Während dieser Zeit konnte einer der Autoren (TH) mehrere Partien (insgesamt etwa 1 kg) von Kristallbruchstücken von schleifwürdiger Qualität erwerben. Abbauaktivität und Produktion haben seit Winter 2000 deutlich abgenommen. Dies rührt daher, dass die Granate generell nur in kleinen Größen gefunden wurden und somit nur einen geringen Verdienst zuließen. Ferner führte die Entdeckung von Rubinvorkommen bei Vatomandry und Andilamena im Winter 2000/2001 (vgl. Goldschmiede Zeitung, Vol. 100, 2002, Nr. 2, S. 130–136) zu einer Abwanderung der Mineure von Bekily zu den neuen Abbaugebieten.

Nach den Angaben lokaler Händler werden oder wurden die Granate von Gruppen zu vier bis zehn Mineuren in mehreren Gruben entlang einer mineralisierten Gesteinsschicht an den Stellen, an denen diese an der Oberfläche zu Tage tritt, gefördert. Die Gruben erreichten Tiefen von 10 m, bei diesem Niveau wurde eine weitere Abbautätigkeit durch Grundwasser unmöglich gemacht.

Die Produktion von facettierbarem Material war bescheiden, normalerweise wurden weder große Steine, noch größere Mengen an Rohmaterial entdeckt. Von den verschiedenen von einem der Verfasser (TH) erworbenen gemischten Partien mit einem Gesamtgewicht von etwa 1 kg wogen etwa 60% weniger als 0,3 Gramm, weniger als 4% der Rohstücke besaßen ein Gewicht von mehr als 1 Gramm. Die Ausbeute an geschliffenem Material aus diesem Granat-Rohmaterial betrug etwa 30% aus den kleineren Größen und bis zu etwa 40% aus den größeren Steinen. Man erhielt somit ungefähr 1 600 Karat facettiertes Material aus diesem einen Kilo Rohware.

Weil die Rohsteine typischerweise klein sind, gibt es nur selten facettierte Steine über 2 ct, solche von 4–6 ct können oder konnten nur in beschränkten Stückzahlen geschliffen werden. Der größte von einem der Autoren untersuchte hochqualitativ facettierte Stein wog 10,69 ct. Die Umba-Region hat signifikant größere Steine (z. B. von 20–30 ct) und weitaus größere Mengen an schleifbarem Material produziert.

Untersuchungsmaterial und angewandte Analysenmethoden

Für die vorliegende Studie wurden etwa 1 000 facettierte Granate aus Bekily untersucht. Diese waren hauptsächlich rosa bis rosaorange gefärbt, aber auch einige orangefarbene bis rote Proben wurden beobachtet, alle Steine lagen innerhalb der Farbgrenzen, welche typischerweise mit Malaya-Granat assoziiert werden. Aus dem gesamten Probenmaterial wurden 31 Granate – welche die ganze beobachtete Farbpalette repräsentierten – ▶

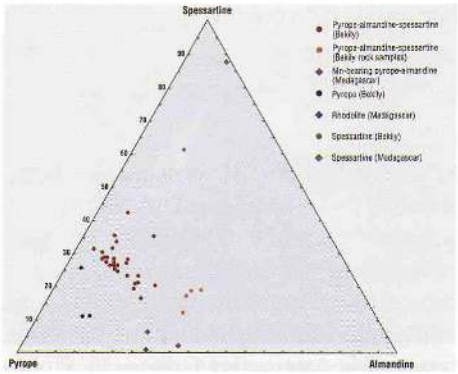


Abb. 5 Chemische Zusammensetzung der Granatproben aus Bekily (Kreise) im Dreiecksdiagramm Pyrop-Almandin-Spessartin. Die in der Farbpalette typischerweise mit Malaya-Granaten aus dieser Gegend assoziierten Proben zeigen nur eine geringe chemische Variationsbreite, sie liegen in der Regel in einer Zone, welche, mit wenigen Ausnahmen, Pyrop-Spessartin-Mischkristalle repräsentiert. Die Granate aus den Gesteinsproben aus der Gegend von Bekily zeigten deutlich höhere Eisengehalte, d. h. eine höhere Almandin-Komponente, die chemische Zusammensetzung der zum Vergleich analysierten Granatproben (Rauten) aus nicht näher bekannten Vorkommen in Madagaskar ist ebenfalls dargestellt.

Abb. 6 Anomale Doppelbrechung wurde in allen Granaten aus Bekily beobachtet, wenn sie unter gekreuzten Polarisatoren betrachtet wurden. Immersion, # Pol., 20x.

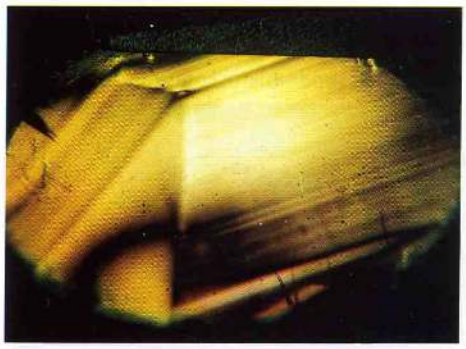


Abb. 7 Manchmal wurde anomale Doppelbrechung aufgrund innerer Spannung parallel zu natürlichen Wachstumsflächen beobachtet, die Wachstumsflächen sind die am häufigsten bei Granaten zu beobachtenden Kristallflächen, nämlich das Rhombendodekaeder {110} und das Trapezoeder {211}. Immersion, # Pol., 30x.

für eine detaillierte gemmologische, chemische und spektroskopische Charakterisierung ausgewählt. Diese Proben wurden mit gemmologischen Standardmethoden auf Brechungsindex, Fluoreszenz bei lang- und kurzwelliger UV-Strahlung und auf ihre Dichte getestet. Wir untersuchten diese 31 Proben auch auf Einschlüsse und innere strukturelle Merkmale, wobei wir unterschiedliche Mikroskope und Beleuchtungsvarianten, sowohl mit als auch ohne Immersion in Methylenjodid, verwendeten. Für dieselben oben genannten Proben wurden UV-VIS-Spektren mit verschiedenen Spektralphotometern aufgenommen. Um die quantitative chemische Zusammensetzung zu bestimmen, wurden diese 31 Granate mit einer Elektronen-Mikrosonde analysiert, wobei 10 Punktanalysen entlang einer Traverse auf der Tafel jeder Probe durchgeführt wurden.

Zusätzlich wurden alle Proben, die nicht für ausführliche analytische Tests ausgewählt worden waren, mikroskopisch untersucht, um andere Mineraleinschlüsse zu finden als die Rutilnadeln, welche in praktisch allen 31 bereits erwähnten Proben zu sehen waren. Aus den uns vorliegenden facettierten Granaten wurden 17 Proben mit solchen Mineraleinschlüssen mit einem Laser-Raman-Mikrospektrometer analysiert.

Mehrere Monate nach dem Erwerb des facettierbaren Rohmaterials erhielten wir von einem örtlichen Händler sechs Handstücke eines granathaltigen Gesteines aus der Gegend um Bekily. Diese Handstücke kamen aller Wahrscheinlichkeit nach nicht aus denselben Gruben wie das facettierbare Rohmaterial dieser Studie, aber zumindest aus dem Minengebiet um Bekily.

Alle sechs Gesteinsproben enthielten intensiv rosafarbene bis rote Granatkristalle mit Größen von bis zu 3 mm. Um die Mineralzusammensetzung dieser Proben zu bestimmen, wurden petrographische Dünnschliffe angefertigt und mikroskopisch untersucht. Mehrere Granatkristalle (d. h. 5–20) in vier Dünnschliffen wurden mit der Elektronen-Mikrosonde analysiert, insgesamt wurden 77 Punktanalysen durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Granatkristall vorsichtig aus einer Gesteinsprobe herauspräpariert und mit einem Spektralphotometer untersucht.

Um die Malaya-Granate aus Bekily mit andersfarbigen Pyrop-Almandin-Spessartin (Pyralspit in der mineralogischen Nomenklatur) Granaten zu vergleichen, wählten wir drei facettierte, rötlich violette (typisch für Rhodolith), drei intensiv rötlich orange bis rote (typisch für Pyrop-Almandin), und 12 orange bis orange-braune und beinahe rote Granate (typisch für die Farben von Spessartin) aus. Alle diese Steine stammten wie verlautet aus Madagaskar (spezifische Lokalitäten unbekannt). Diese 18 Granate wurden mit denselben oben genannten Methoden wie die 31 rosa bis orangefarbenen Bekily-Granate untersucht.

Untersuchungsergebnisse

Charakterisierung der granathaltigen Gesteinsproben

Die Gesteinsproben waren stark verwitterte, teilweise zersetzte Gneise, bestehend aus den folgenden Mineralgemengteilen: Granat, Quarz, Plagioklas, Sillimanit, Rutil, Graphit, Zirkon und Symplektit von unbekannter Zusammensetzung. Die Granate sind also in Sillimanit-Gneisen als Muttergesteinen enthalten. Dies stimmt mit früheren Arbeiten über den Mineralbestand von Gesteinen aus dem südlichen Madagaskar, inklusive dem Bekily-Gürtel, überein.

Erscheinungsbild und gemmologische Eigenschaften der Granate von Edelsteinqualität

Vor dem Schleifen wurde das Rohmaterial visuell untersucht, um die Morphologie der Granatkristalle zu dokumentieren. Die ungeschliffenen Proben bestanden hauptsächlich aus unregelmäßigen Bruchstücken ohne äußere Kristallflächen, jedoch zeigte ein geringer Anteil der Rohgranate eine gerundete Oberfläche ähnlich derer, welche typischerweise bei abgerollten Steinen aus alluvialen Vorkommen anzutreffen ist.

Die facettierten Proben waren hauptsächlich rosa bis rosa-orange gefärbt und wiesen eine homogene Farbverteilung auf. Die Farbsättigung der Granate war sehr unterschiedlich, sie reichte von fast farblos über ein sehr helles Rosa oder ein sehr helles Rosa-Orange bis zu einem intensiven Rosa, Rosa-Orange, einem bräunlichen Rosa, Orange-Rot oder Rot bei Tageslicht. Besonders die heller gefärbten Granate zeigten eine deutliche Farbverschiebung von Rosa oder Rosa-Orange bei Tageslicht zu einem intensiveren Rosa-Rot oder Orange-Rot bei Kunstlicht (Abb. 3 a, b). Eine Probe wies einen außergewöhnlich intensiven orangen Farbton auf.

Die Brechungszahlen und Dichten der 31 Malaya-Granate zeigten eine deutliche Variation von 1,739 bis 1,782 und von 3,77 bis 4,04 g/cm^3 (Abb. 4, Diagramm A). Eine Mehrzahl von 27 Granaten lag zwischen deutlich engeren Grenzen, sowohl für den Brechungsindex (d. h. zwischen 1,747 und 1,766) als auch für die Dichte (zwischen 3,80 und 3,96 g/cm^3) als die gesamte Gruppe von 31 Proben. Die Farben dieser Hauptgruppe repräsentierten etwa 97% der Farben der 1000 untersuchten facettierten Steine.

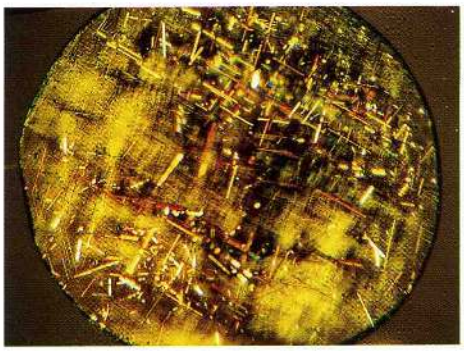


Abb. 8 Anomale Doppelbrechung wird oftmals zusammen mit einem Gitter aus Rutilnadeln in den Granatproben aus Bekily beobachtet. Immersion, # Pol., 30x.

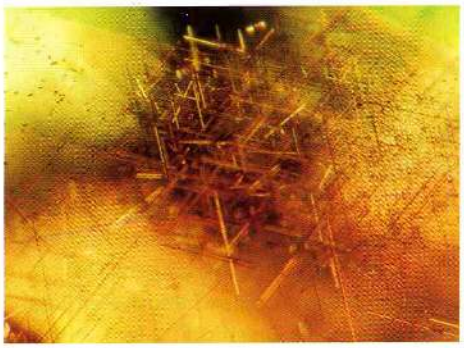


Abb. 9 Das typische mikroskopische Erscheinungsbild der Malaya-Grante aus Bekily zeigt ein dreidimensionales Gitter orientierter Rutilnadeln sowie Spannungsdoppelbrechung. Immersion, # Pol., 40x.

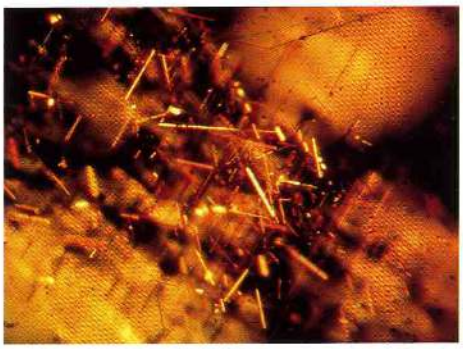


Abb. 10 Das typische mikroskopische Erscheinungsbild der Malaya-Granate aus Bekily zeigt ein dreidimensionales Gitter orientierter Rutilnadeln sowie Spannungsdoppelbrechung. Immersion, # Pol., 40x.

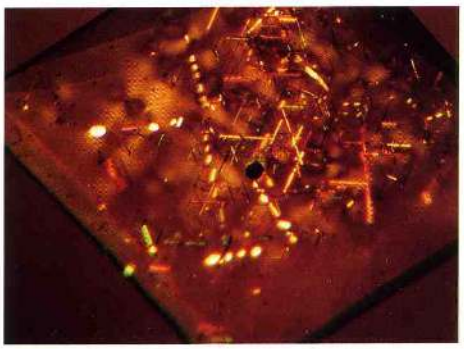


Abb. 11 Wird das Gitter aus Rutilnadeln von doppelbrechenden Rutil-Plättchen begleitet, erscheint ein Negativkristall im Zentrum im Durchlicht opak. Immersion, # Pol., 30x.

Chemische Eigenschaften der facettierten Malaya-Granate

Die 31 facettierten Malaya-Granate, die mit der Elektronen-Mikrosonde analysiert wurden, waren relativ homogen zusammengesetzt, deutliche chemische Zonierungen konnten nicht nachgewiesen werden. Die Proben bestanden aus 24 bis 70 Mol.-% Pyrop und 13 bis 59 Mol.-% Spessartin. Der Almandingehalt variierte von 4 bis 25 Mol.-%, wobei immer auch geringe Anteile von Grossular (3–5 Mol.-%) vorhanden waren. Geringe Spuren von Vanadium und Chrom waren bei allen Proben ebenfalls nachweisbar.

Ein Schaubild des Brechungsindex gegen die Summe farbgebender Übergangsmetalle (FeO + MnO, Abb. 4, Diagramm B) zeigt die Schwankung dieses optischen Merkmals in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung. Eine ähnliche Korrelation (nicht dargestellt) erhält man, wenn die Dichte gegen die Summe von FeO und MnO dargestellt wird. Diese Resultate erklären die Variation einiger optischer und physikalischer Eigenschaften bei individuellen Proben je nach chemischer Zusammensetzung.

Die chemische Variabilität der Bekily-Granate ist in Abb. 5 grafisch dargestellt. Die meisten Granate (27 Proben) lassen sich in eine relativ kleine Zone des Pyrop-Almandin-Spessartin-Dreiecksdiagramms einzeichnen. Diese Proben repräsentieren mehr als 97% der von uns untersuchten 1000 facettierten Malaya-Granate. Es handelt sich dabei um diejenigen mit einer überwiegend rosa oder rosa-orangen und manchmal auch orangeroten bis fast roten Farbe.

Die meisten Proben sind Glieder der Pyrop-Spessartin-Mischkristallreihe mit einem geringeren Anteil von Almandin als Spessartin. Sechs der 31 analysierten Proben haben einen nahezu gleichen Gehalt an Spessartin und Almandin, und zwei Granate besaßen sogar deutlich höhere Anteile von Almandin als Spessartin.

Die Darstellung in Abb. 5 zeigt auch die breitere Variabilität innerhalb des Pyrop-Almandin-Spessartin-Diagramms, wenn man alle rosa, rosa-orange, orange-rot oder rot gefärbten Granate aus Bekily betrachtet. Bei drei der untersuchten Steine handelt es sich um Pyrope mit relativ geringen Spessartin- und Almandinanteilen. Ein Granat war als Spessartin mit einem deutlichen Pyropanteil anzusprechen.

Chemische Eigenschaften der Granate aus Gesteinsproben

Die chemischen Daten der Granatkörner, die in vier Dünnschliffen analysiert wurden, sind ebenfalls in Abb. 5 eingezeichnet, alle Granate eines Handstücks zeigen eine relativ homogene Zusammensetzung mit Ausnahme geringer chemischer Schwankungen (etwa 2 Gew.-% für FeO, MgO, oder MnO). Die Farbe ▶

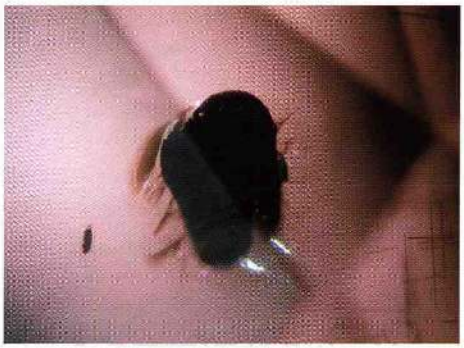


Abb. 12 Tafelige Graphitkristalle wurden in mehreren Bekily-Granaten bestimmt, einige sind von Spannungsrissen umgeben. 50x.

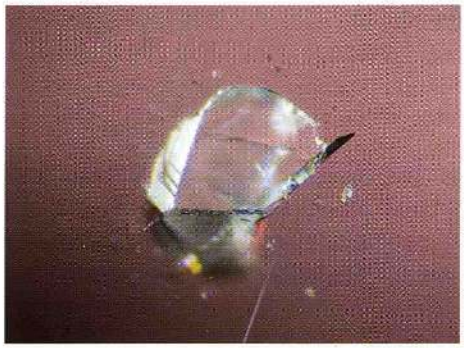


Abb. 13 Unregelmäßige Bruchstücke transparenter Kristalle, welche in einigen Granaten gefunden wurden, konnten als Quarz bestimmt werden, der hier abgebildete Quarz-Einschluss ist mit einer Rutilnadel verwachsen. 100x.

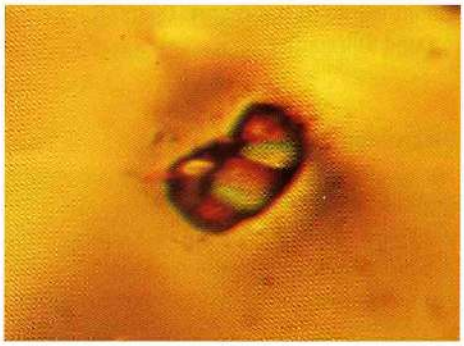


Abb. 14 Gelegentlich zeigen die Quarzeinschlüsse in den Malaya-Granaten aus Bekily gerundete Kristallkanten. Immersion, # Pol., 80x.

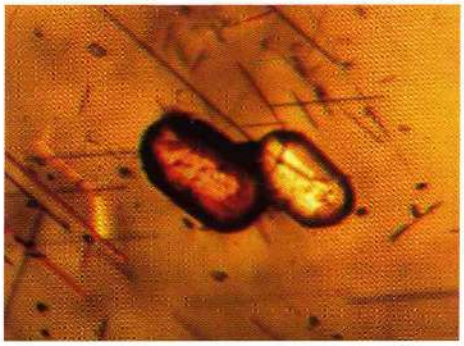
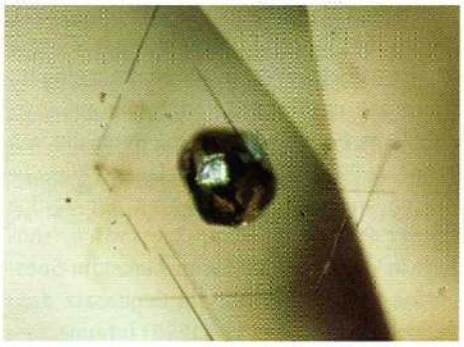


Abb. 15 Apatitkristalle, manche mit gerundeten Kanten, wurden durch Ramanspektroskopie identifiziert. Immersion, # Pol., 80x.



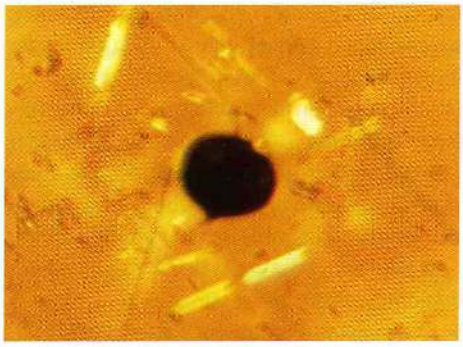


Abb. 16 a, b Negativkristalle mit einer für Granate typischen Morphologie waren in dem Bekily-Material ebenfalls gelegentlich zu finden. Im Auflicht (links) sind die ebenen Flächen, welche den Hohlraum begrenzen, deutlich zu erkennen, derselbe Einschluss erscheint im Durchlicht (rechts) undurchsichtig. 50x.

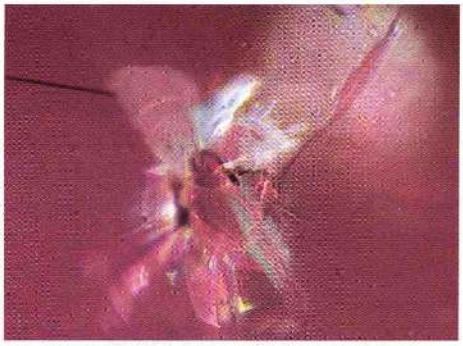


Abb. 17 Zirkonkristalle mit Spannungsrissen traten in den untersuchten Proben relativ selten auf. 100x.

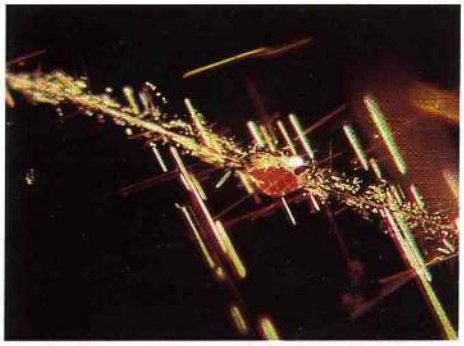


Abb. 18 In einigen Proben waren Mineraleinschlüsse, die als Quarz bestimmt wurden, im Zentrum oder an der Spitze von Rutilnadeln angeordnet. 120x.

der größeren, makroskopisch sichtbaren Granatkristalle in den Gesteinsproben war nahezu identisch mit derjenigen der Malaya-Granate mit den höchsten gemessenen Eisengehalten. Die Granate aus den Gesteinsproben hatten jedoch einen deutlich höheren Eisengehalt (und daher höhere Almandinanteile von 34 bis 37 Mol.-%) als die, welche an den 31 facettierten Proben gemessen wurden.

Spektroskopische Eigenschaften

Die Absorptionsspektren unserer Bekily-Granate zeigen eine Serie von Absorptionsbanden von unterschiedlicher Intensität. Die Intensitäten dieser Absorptionsbanden stehen in direktem Zusammenhang mit den Eisen- und Mangangehalten der Granate, welche mit der Elektronen-Mikrosonde bestimmt wurden. Ein roher Granat, welcher von einer Gesteinsprobe herauspräpariert wurde, zeigte ein ähnliches Absorptionsspektrum wie der facettierte Granat, welcher den höchsten Eisengehalt unserer 31 Proben aufwies.

Mikroskopische Merkmale

Wenn die Granate bei gekreuzten Polarisatoren untersucht werden, zeigen alle Proben starke anomale Doppelbrechung (Abb. 6), manchmal parallel zu Wachstumsebenen, welche einen Winkel von 150° miteinander bilden (Abb. 7). Dieser Winkel kommt bei Granat zwischen den üblichsten Flächenformen, nämlich dem Rhombendodekaeder {110} und dem Trapezoeder {211}, vor. Anomale Doppelbrechung, die von innerer Spannung verursacht wird, ist charakteristisch für Granate der Mischkristallreihen Pyrop-Almandin-Spessartin-Grossular.

Die meisten Proben enthielten ein dreidimensionales Gitter orientierter Rutilnadeln (Abb. 8, 9, 10). Manchmal beobachteten wir orientierte Plättchen oder längliche tafelige Kriställchen, die durch Ramanuntersuchung ebenfalls als Rutil bestimmt wurden (Abb. 11).

Eine Reihe anderer Mineraleinschlüsse wurden in den 17 Proben, welche wir zur Ramananalyse ausgewählt hatten, ebenfalls identifiziert. Sechs Granate enthielten nicht orientierte, unregelmäßig geformte Graphit-Plättchen, einige waren von Spannungsrissen umgeben (Abb. 12). Fünf Granate enthielten unregelmäßig geformte Quarzkristalle als Einschlüsse (Abb. 13), gelegentlich auch mit gerundeten Kanten (Abb. 14). Prismatische Apatitkristalle, manchmal ebenfalls mit gerundeten Kanten, wurden in sechs Proben bestimmt (Abb. 15). Negativkristalle, welche die typische Granatmorphologie zeigten, waren in sechs Proben zu erkennen (Abb. 16a), bei Durchlicht erschienen diese Hohlräume opak (Abb. 16b, vgl. auch Abb. 11). Drei der Proben enthielten Zirkoneinschlüsse mit Spannungsrissen (Abb. 17). Manchmal waren Mineraleinschlüsse in der Mitte oder an der Spitze von Rutilnadeln (Abb. 18) zu finden, mehrere dieser Einschlüsse wurden als Quarze bestimmt. In einem Granat waren orientierte tafelige Rutilkristalle vorhanden, die auf zwei Seiten von kleinen Quarzkristallen umgeben waren (Abb. 19). In einer anderen Probe bestimmten wir winzige nadelige bis faserige Einschlüsse als Sillimanit.

Generell spiegeln die Mineraleinschlüsse der Granate die Mineralbestandteile der Gesteinsproben wider, welche in den Dünnschliffen der granathaltigen Handstücke bestimmt wurde (d.h. Graphit, Quarz, Rutil, Zirkon und Sillimanit).

Diskussion

Nomenklatur

Alle analysierten Proben sind als Pyrop-Spessartine oder Pyrop-Almandin-Spessartine anzusprechen. Wenn die von Stockton und Manson (1985) vorgeschlagene Nomenklatur angewendet wird, sind die meisten der Proben, die von uns analysiert wurden, Pyrop-Spessartin-Mischkristalle (vgl. wiederum Abb. 5). Drei hellrosa Granate waren Pyrope mit geringen Mangan- und Eisengehalten. Eine orangefarbene Probe war ein Spessartin mit einem hohen Magnesiumgehalt (Pyropanteil), sowohl bezüglich Farbe als auch Chemie scheint es sich bei diesem Granat um eine für Steine aus der Gegend von Bekily außergewöhnliche Probe zu handeln. Wenn die von Hannemann (1997) vorgeschlagene Klassifizierung angewandt wird, wären nur wenige unserer Proben als Pyrop-Spessartine, sondern in der Regel als Pyrop-Almandin-Spessartine zu beschreiben. Im Gegensatz dazu bezeichneten Lind et al. (1998) intermediäre Granate verschiedener Farben mit bis zu 20 Mol.-% Spessartin als Rhodolith. Diese Nomenklatur ist weder mit den beiden oben genannten Nomenklaturvorschlägen noch mit der rosa-violetten oder rot-violetten Farbe, von der Rhodolith seinen Namen ableitet, vereinbar.

Farbe und Farbursache

Die Intensität der Färbung der untersuchten Granate steht im Zusammenhang mit ihrem absoluten Eisen- und Mangangehalt und dem sich daraus ergebenden FeO : MnO-Verhältnis. Mn^{2+} und Fe^{2+} ersetzen beide Mg^{2+} in der Kristallstruktur des reinen Pyrop, welcher von Natur aus farblos ist. Bei den Mischkristallen aus Bekily, die alle deutliche Mangangehalte aufweisen, verstärkt sich mit steigendem Eisen-, d. h. mit steigendem Almandingehalt, die Farbe von hellrosa oder hellrosa-orange zu einem intensiven Rosa oder nahezu Rot

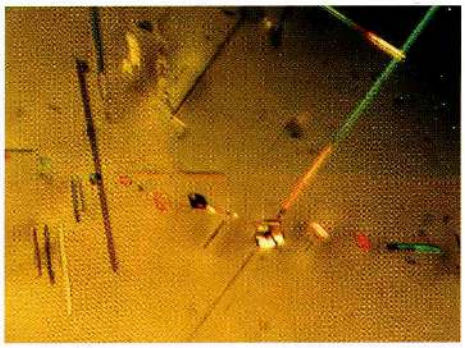


Abb. 19 Rutilnadeln sowie orientierte Rutilplättchen, welche mit kleinen Quarzkriställchen verwachsen sind, waren in einer der untersuchten Proben anzutreffen. Immersion, #Pol., 50x.

Aufnahme Maha Tannous, Kunstlicht

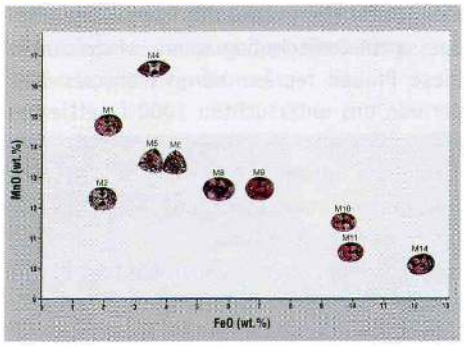


Abb. 20 a, b Die Farbe der Malaya-Granate wird von ihrer chemischen Zusammensetzung bestimmt, die Variationsbreite der bei den Granaten aus Bekily beobachteten Farben (a) lässt sich mit dem jeweiligen Gehalt der Proben an Eisen und Mangan korrelieren (b), mit ansteigendem Eisengehalt wird die rosa Komponente der Färbung intensiviert, mit steigendem Mangangehalt wird die orange Farbkomponente stärker. – Die hier abgebildeten Proben wiegen 0,72–1,46 ct.

Die Autoren danken

Herrn Dr. O. Medenbach, Ruhr-Universität, Bochum, für seine Hilfe bei der mikroskopischen Bestimmung der Mineralbestandteile der Gesteinsproben.

(Abb. 20 a, b). Spuren von Vanadium und/oder Chrom dürften geringfügig zu der Rosafärbung beitragen. Mit ansteigendem Mangangehalt erscheinen die Proben stärker orange, sie können dann fast die Farbe des Spessartin-Endgliedes der Mischkristallreihen Pyrop-Almandin-Spessartin erreichen (Abb. 21).

Mischkristalle der Pyrop-Almandin-Reihe ohne merklichen Mangangehalt sind normalerweise rosaviolett bis rotviolett gefärbt (siehe Abb. 22). Kleine Mengen von Mangan (d. h. 1–3 Gew.-% MnO) sind ausreichend, um die violette Farbkomponente dieser Rhodolithe zu schwächen oder gänzlich zu beseitigen, wobei Granate mit einem intensiven Rot entstehen. Dieser dramatische Wechsel (siehe wiederum Abb. 22) wird von starken Mangan-Absorptionsbanden im violetten Bereich des sichtbaren Lichts verursacht. Die Farbe der Mn-haltigen Pyrop-Almandin-Granate, welche wir zum Vergleich analysiert hatten, ähnelt derjenigen der intensiv orange-roten, rosafarbenen oder roten Granate aus Bekily mit hohem Eisen- und relativ niedrigem Mangangehalt. Es wird ersichtlich, dass eine Steigerung des Mangangehalts von etwa 3 Gew.-% (in Mn-haltigen Pyrop-Almandinen) auf etwa 7–10 Gew.-% (in den Malaya-Granaten aus Bekily) die Farbe nicht stark beeinflusst. Dies erklärt auch die Ähnlichkeit der Farben zwischen den facettierten Malaya-Granaten mit hohem Eisengehalt und den relativ eisenreichen Granatkristallen der Gesteinsproben.

Vergleich mit Malaya-Granaten aus Ostafrika

Basierend auf unseren Beobachtungen und Abbildungen aus der Literatur sind die meisten Malaya-Granate aus Ostafrika intensiv orange, rosa-orange oder gelblich orange gefärbt. Malaya-Granate aus Bekily sind ebenfalls rosa-orange, aber orange bis gelblich orange Farbtöne sind in der Regel nicht zu beobachten.

Die chemische Zusammensetzung der Malaya-Granate aus Ostafrika wies eine größere Variationsbreite auf als bei unseren Bekily-Proben zu beobachten war (Abb. 23). Dennoch fällt nur ein kleiner Bruchteil der ostafrikanischen Umba-Proben in den Bereich der Zusammensetzung der 27 Granate, die das Farbspektrum der Mehrzahl unserer Granate aus Bekily repräsentieren. Bezeichnenderweise enthalten die meisten Umba-Granate deutlich höhere Mengen an Mangan (d. h. eine größere Spessartin-Komponente). Dies erklärt die generellen Farbunterschiede, welche zwischen Granaten dieser beiden Herkunftsgebiete beobachtet werden.

Die Mineralvergesellschaftung in Malaya-Granaten aus Umba besteht nach E. Gübelin (1981) aus Gittern orientierter Rutilnadeln, kleineren schwarzen Rutilprismen, zahlreichen winzigen Apatiten, Quarz, braunem bis

Aufnahme Maha Tannous, Kunstlicht

Abb. 21 Der rosafarbene Malaya-Granat auf der linken Seite hat einen niedrigeren Mangangehalt (13,04 Gew.-% MnO) als der orangefarbene Malaya-Granat in der Mitte (26,63 Gew.-% MnO), ein Spessartin (38,32 Gew.-% MnO) mit geringem Eisengehalt ist zum Vergleich rechts abgebildet. Die Proben wiegen 1,16–1,47 ct.

Aufnahme Maha Tannous, Kunstlicht

Abb. 22 Die beiden intensiv rosa gefärbten und beinahe roten Malaya-Granate auf der linken Seite sind relativ reich an Eisen, sie haben ähnliche Farben wie die beiden Pyrop-Almandin-Granate mit niedrigem Mangangehalt (Mitte), ein Rhodolith ohne deutliche Mangangehalte ist zum Vergleich abgebildet (rechts). – Die Proben wiegen 0,72–1,41 ct.

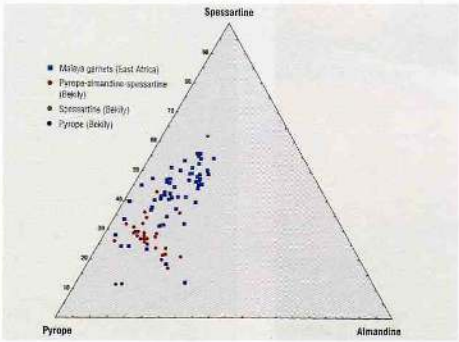


Abb. 23 Vergleich der chemischen Zusammensetzung der von Stockton und Manson (1982) analysierten Malaya-Granate aus Ostafrika mit den von uns analysierten Proben aus Bekily, die Granate aus Ostafrika zeigen eine größere Variationsbreite der chemischen Zusammensetzung als diejenigen aus Bekily, die meisten der ostafrikanischen Proben zeigen eine höhere Spessartin-Komponente als die Malaya-Granate aus Madagaskar.

rötlich braunem Zirkon, gelbem bis gelblich braunem Pyrit, schwarzem Pyrrhotin, und (selten) Monazit. Die in den Bekily-Granaten auftretenden Negativkristalle und Graphitplättchen wurden in Malaya-Granaten aus Tansania bisher nicht beschrieben.

Vergleich mit farbwechselnden (blaugrün nach rotviolett) Granaten aus Bekily

Wie oben erwähnt, werden Granate mit einem Farbwechsel von blaugrün nach rotviolett in der Umgebung der hier beschriebenen Malaya-Granate abgebaut. Beide Granat-Typen sind Glieder der Mischkristallreihe Pyrop-Spessartin mit ähnlichen Pyrop- und Spessartingehalten. Die einzigen signifikanten Unterschiede sind die deutlich höheren Vanadium- (etwa 1,0 Gew.-% V_2O_3) und Chromgehalte (etwa 0,2 Gew.-% Cr_2O_3) in den farbwechselnden Granaten.

Zusammenfassung

Bekily im südlichen Madagaskar ist ein in den 1990ern neu entdecktes Vorkommen für Malaya-Granate, aus dem hauptsächlich rosa bis rosa-orange gefärbte Glieder der Pyrop-Spessartin-Mischkristallreihe stammen. Es handelt sich mehrheitlich um intermediäre Pyrop-Spessartin-Granate mit unterschiedlichen Anteilen von Almandin, untergeordnet auch mit einem geringen Grossularanteil. Der Brechungsindex, die Dichte und die Farbe dieser Granate stehen in Zusammenhang mit ihrem jeweiligen Eisen- und Mangangehalt. Einschlüsse, welche durch Ramanspektroskopie identifiziert wurden, umfassen Rutilnadeln und -plättchen, Graphit, Quarz, Apatit, Zirkon und Sillimanit, Negativkristalle wurden nachgewiesen. Graphit-Plättchen und Negativkristalle wurden in Malaya-Granaten aus Ostafrika bisher nicht beschrieben.

Die Farben der Malaya-Granate aus Madagaskar werden von unterschiedlichen Gehalten an Eisen und Mangan verursacht, generell enthalten sie geringere Mangangehalte als die meisten Malaya-Granate aus Ostafrika. Einige hellrosa Granate aus Bekily sind Pyrope mit wenig Mangan und Eisen. Eine orangefarbene Probe aus Bekily hatte eine außergewöhnliche Zusammensetzung, es handelte sich um einen Spessartin mit hohem Anteil an Pyrop. ■

Anschriften der Verfasser

Dr. Karl Schmetzer, Taubenweg 16, D-85238 Petershausen,

Thomas Hainschwang, GEMLAB Gemmologisches Labor, Landstr. 193, FL-9491 Ruggell, Liechtenstein,

Dr. Lore Kiefert, SSEF Schweizerisches Gemmologisches Institut, Falknerstr. 9, CH-4001 Basel, Schweiz,

Dr. Heinz-Jürgen Bernhardt, Zentrale Elektronen-Mikrosonde, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum.