Goldschm - Zellum Vol. 95, Nr. 11 Nov 1997

Trapiche-Rubine

Einleitung

Im Oktober 1995 erhielt einer der Verfasser (K. S.) durch einen in der Umgebung von München ansässigen Sammler Kenntnis von einem als Cabochon geschliffenen Rubin, der als strukturelles Merkmal eine ausgeprägte Sektorteilung aufwies, wie sie in ähnlicher Form bei Smaragden schon längere Zeit bekannt ist. Diese als Trapiche-Smaragde bezeichneten Steine stammen aus den Minengebieten von Chivor und Muzo in Kolumbien.

Der erwähnte Rubin von 6,0 ct wurde erstmals von Müllenmeister und Zang (Lapis, Vol. 20, 1995, Nr. 12, S. 50) beschrieben und später auch kurz von Henn und Bank (Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft, Vol. 45, 1996, H. 1, S. 23-24) erwähnt. Der außergewöhnliche Rubincabochon bestand aus sechs transparenten, rot gefärbten Bereichen, welche durch undurchsichtige, gelb gefärbte Sektorbegrenzungen in der Form eines sechsstrahligen Sterns gegeneinander abgegrenzt waren. Durch den Händler, der den Stein ursprünglich in Deutschland verkauft hatte, wurde Mong Hsu in Myanmar (Burma) als Herkunftsort des Rubins angegeben (R. Goerlitz, persönliche Mitteilung,

Elektronenmikroskopische Untersuchungen dieses Steins ergaben, daß in den Armen des Rubins sehr wahrscheinlich Carbonate – hauptsächlich Calcit, untergeordnet auch Ankerit – anzutreffen sind (Müllenmeister und Zang, 1995). Auch Henn und Bank (1996) erwähnen Carbonate als Bestandteile der gelben Arme dieses Rubins, sie konnten im Elektronenmikroskop in Verbindung mit einem energiedispersiven Analysensystem die charakteristischen Signale von Ca, Mg, Fe und C nachweisen (U. Henn, persönliche Mitteilung, 1996).

Im November 1995 war es dreien der Autoren (K. S., H. A. H. und D. S.) möglich, im Anschluß an die 25. internationale Gemmologenkonferenz in Thailand den Rubinmarkt von Mae Sai zu besuchen. In diesem Ort im Norden Thailands, direkt an der Grenze zu Myanmar, wurden größere Mengen roher Rubine zusammen mit wenigen facettierten Steinen an Ständen im Straßenverkauf angeboten. Nach den Angaben der Händler handelte es sich bei den angebotenen Steinen ebenfalls um Rubine aus dem Minengebiet von Mong Hsu in Myanmar (vgl. hierzu Peretti et al., Goldschmiede und Uhrmacher Zeitung, Vol. 93, 1995, H. 9, S. 109-113, sowie H. 11, S. 99-104). Im Verlauf von zwei Besuchstagen dieses Rubinmarktes war es den Verfassern möglich,

unter den angebotenen Steinen einen als Cabochon geschliffenen Rubin (Abb. 1) und etwa 30 Rohkristalle mit Sektorteilung zu finden und zu kaufen. Die Zonierung dieser Proben war ähnlich ausgebildet wie bei dem kurz zuvor in Deutschland gesehenen Rubin von 6,0 ct. Wenige Tage später konnte einer der Verfasser (D. S.) etwa 70 weitere Rubinkristalle mit Sektorteilung von mehreren Händlern in Bangkok kaufen. Für diese Steine wurden von den Verkäufern sowohl Myanmar als auch Vietnam als mögliche Herkunftsländer angegeben.

Für die vorliegende Untersuchung standen somit etwa 100 Trapiche-Rubine mit Sektorteilung zur Verfügung. Außerdem wurde den Verfassern im Verlauf dieser Forschungsarbeit auch ein Trapiche-Saphir zugänglich gemacht, der zum Vergleich ebenfalls in die Untersuchungen einbezogen wurde (siehe Anhang).

Der vorliegende Bericht stellt eine gekürzte Fassung einer erstmals in englischer Sprache in der in den USA erscheinenden Fachzeitschrift Gems & Gemology, Vol. 32, 1996, No. 4, pp. 242–250, veröffentlichten Arbeit dar. Der an weiteren Details interessierte Leser sei auf diese Veröffentlichung verwiesen.

Probenmaterial und analytische Methoden

Alle Rubinkristalle mit Sektorteilung wurden makroskopisch und mit den gebräuchlichen Methoden der Edelsteinmikroskopie im reflektierten Licht und im Durchlicht untersucht. Dabei wurde eine Gruppe von 18 Kristallen, welche Proben mit allen in den Rohsteinen beobachteten strukturellen Varianten umfaßte, aus dem vorhandenen Untersuchungsmaterial ausgesucht. Diese 18 Rubine wurden in jeweils drei oder vier Scheiben geschnitten, wobei die Orientierungen der Schnitte wie folgt festgelegt wurden: a) parallel zur c-Achse und parallel zu einem der Arme (Sektorgrenzen) des sechsstrahligen Sterns, b) parallel zur c-Achse und senkrecht zu einem der Arme (Sektorgrenzen) des sechsstrahligen Sterns und c) senkrecht zur c-Achse. Nach dem Polieren wiesen diese Scheiben eine Dicke von etwa 1 bis 1,3 mm auf. Von zehn dieser Scheiben wurden polierte Schliffe von etwa 200 µm Dicke angefertigt, zwei weitere Scheiben wurden zu polierten Dünnschliffen von ca. 20 µm Dicke weiterverarbeitet. Etwa 30 weitere Rubinkristalle wurden in jeweils zwei Teile geschnitten und anschließend zur besseren Sichtbarmachung der inneren Struktur anpoliert.



Abb. 1: Als Cabochon geschliffener Trapiche-Rubin von 1,55 ct. – Größe des Stein etwa 6,2 × 6,8 mm.

Alle polierten Scheiben und Kristallschnitte wurden im Edelsteinmikroskop mit faseroptischer Beleuchtung und in Immersion, die polierten Schliffe und Dünnschliffe mit gebräuchlichen Polarisationsmikroskopen (Leitz und Zeiss) untersucht.

Zur Bestimmung der vorhandenen Festkörpereinschlüsse wurden zwei sich gegenseitig ergänzende mikroanalytische Methoden verwendet: zehn polierte Scheiben wurden durch Mikro-Ramanspektroskopie (Renishaw Raman Mikroskop System 1000) untersucht, und acht der etwa 200 µm dicken Schliffe wurden in einer Elektronenmikrosonde (Cameca Camebax SX 50) analysiert.

Zur weiteren chemischen Charakterisierung des Materials in den Armen der sechsstrahligen Sterne und zum Vergleich mit den chemischen Eigenschaften der Rubin-Wirtskristalle wurden fünf Kristallschnitte und sechs der polierten Scheiben mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektroskopie (EDXRF) untersucht, wobei ein Philips PV 9500 Röntgenfluoreszenzspektrometer mit Tracor Northern Spectrace Software verwendet wurde. Um Unterschiede in der Zusammensetzung der Rubine und in der Zusammensetzung der Arme der sechsstrahligen Sterne zu ermitteln, wurden bei einigen Proben während der Analyse bestimmte Kristallbereiche mit Bleifolien abgedeckt. Dabei war es bei größeren Steinen möglich, einen Rubinsektor allein (ohne Arme) und einen Arm mit den jeweils an ihn angrenzenden Rubinbereichen getrennt zu analysieren.

Zur Vervollständigung des Datenmaterials wurden gelbe, undurchsichtige Kristallbereiche in mehreren Rubinen mit einer extrem hohen Konzentration von Einschlüssen durch Röntgenbeugung mittels einer Gandolfi-Kamera und durch Mikrosondenanalysen charakterisiert.

Makroskopische Eigenschaften

Bei allen untersuchten Rubinen handelte es sich um Bruchstücke tönnchenförmig ausgebildeter Kristalle mit Durchmessern zwischen 3 und 8 mm und einer Länge von 3 bis 10 mm. Bei einigen Kristallen handelte es sich um solche mit durch natürlichen Transport abgerundeten Kristallflächen (Abb. 2a), andere Proben zeigten dagegen eine ausgeprägte Flächenstreifung auf Ebenen oder Bruchflächen, die mehr oder weniger parallel zur Basisfläche der Rubine orientiert waren (Abb. 2b). Bei etwa 20 der untersuchten Rubinkristalle waren die natürlichen Kristallflächen mit einem Anlegegoniometer oder durch mikroskopische Winkelmessungen bestimmbar. Alle diese Kristalle zeigten eine einheitliche Morphologie mit einer hexagonalen Dipyramide, welche etwa 5° gegen die c-Achse geneigt war. Als dominante Kristallform konnte somit die hexagonale Dipyramide ω (14 1428 3) bestimmt werden. Drei Kristalle zeigten zusätzlich zu dieser Fläche noch kleinere Rhomboederflächen r (1011).

Die Sektorteilung der Rubine war in denjenigen Scheiben, die senkrecht zur c-Achse geschnitten waren, am besten zu sehen. In diesen hexagonalen Querschnitten waren stets sechs rote, transparente bis durchscheinende Sektoren vorhanden, welche durch die gelben oder weißen Arme eines sechsstrahligen Sterns begrenzt waren. Anders als bei gewöhnlichen Sternsteinen waren die sechs Arme der Trapiche-Rubine unbeweglich und somit auch bei einer Bewegung oder Drehung des Kristalls relativ zum Betrachter und/oder zur Lichtquelle immer an derselben Stelle des Wirtskristalls zu sehen.

In einem Teil der Kristalle schneiden sich die Arme des sechsstrahligen Sterns in einem kleinen, zentralen Punkt, so daß dreieckige Rubinsektoren zwischen den Sektorgrenzen ausgebildet sind (Abb. 3). In vielen Trapiche-Rubinen gingen die Arme der Sterne jedoch von den Ecken eines sechsseitigen Kerns aus, so daß sechs Rubinsektoren mit trapezförmigen Umrissen ausgebildet waren (Abb. 4). Die hexagonalen Kerne der Rubine waren meist undurchsichtig gelb oder schwarz (Abb. 5), in einigen Fällen jedoch auch durchsichtig und rot gefärbt (Abb. 2 a). Zwischen den schwarzen oder roten hexagonalen Kernen und den sechs trapezförmigen Rubinsektoren waren meist dünne, gelb gefärbte, in seltenen Fällen auch weiße Grenzbereiche ausgebildet, welche farblich mit den Armen der sechsstrahligen Sterne übereinstimmten (Abb. 4 und 5).

In einigen der Trapiche-Rubine war auf beiden Seiten der tönnchenförmig ausgebildeten Kristallbruchstücke oder auf beiden Seiten der polierten Scheiben der Schnittpunkt der Arme der sechsstrahligen Sterne nahezu punktförmig ausgebildet, in den meisten Fällen war jedoch zumindest an einem Kristallende bzw. auf einer Seite einer Scheibe ein größerer Kern vorhanden (Abb.



Abb. 2a: Trapiche-Rubin mit durch natürlichen Transport abgerundeten Kristallflächen; der Stein zeigt einen roten Kern und sechs trapezförmig ausgebildete Rubinsektoren, welche durch die Arme eines sechsstrahligen Sterns begrenzt sind. - Durchmesser des Steins etwa 4 mm.



Abb. 2b: Trapiche-Rubin mit ausgeprägter Flächenstreifung auf einer Ebene, die näherungsweise parallel zur Basisfläche verläuft; die Streifung in den dreieckigen Rubinsektoren verläuft senkrecht zu den sechs äußeren Kristallflächen. - Durchmesser des Steins etwa 7,5 mm.

3 und 5). Bei Proben, bei denen an beiden Enden der tönnchenförmig ausgebildeten Kristalle oder auf beiden Seiten der Scheiben ein Kern ausgebildet war, variierten die Durchmesser der roten, gelben oder schwarzen Kerne einer Probe in der Regel deutlich. Aus diesen Beobachtungen und aus der Untersuchung von Schnitten parallel zur c-Achse ist ersichtlich, daß die Kerne in der Regel pyramidenförmig und spitz zulaufend ausgebildet sind (Abb. 6). Die Färbung der Kerne oder der Schnittpunkte der Arme eines Sterns war in der Regel an beiden Enden eines Kristalls gleich, doch wurden seltener auch Proben mit unterschiedlich gefärbten Kernen an beiden Kristallenden, z. B. rot und schwarz (Abb. 6), beobachtet.

In einigen Rubinschnitten wurde festgestellt, daß sich undurchsichtige, fiederförmig ausgebildete Strukturen, ausgehend von den Armen der Sterne, weit in die sonst transparenten Rubinbereiche hinein erstrecken (Abb. 7 und 8). Sie bilden zum Rand der Kristalle hin größere, dreieckige, undurchsichtige Bereiche mit hoher Konzentration an Einschlüssen. Diese Zonen waren in einigen Kristallen, offensichtlich aufgrund intensiver Verwitterung, zumindest teilweise aufgelöst, so daß Kristalle mit einspringenden Winkeln entstanden (Abb. 8).



Abb. 3: Querschnitt eines Trapiche-Rubins; die sechs Arme eines hexagonalen Sterns schneiden sich in einem kleinen, zentralen Punkt, sie begrenzen sechs dreieckig ausgebildete Rubinsektoren. - Durchmesser der polierten Scheibe etwa 4,2 mm.



Abb. 4: Querschnitt eines Trapiche-Rubins; die sechs Arme eines hexagonalen Sterns gehen von den Ecken eines sechsseitigen schwarzen Kerns aus, sie begrenzen sechs trapezförmig ausgebildete Rubinsektoren. - Durchmesser der polierten Scheibe etwa 3,2 mm.

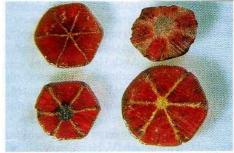


Abb. 5: Querschnitte von Trapiche-Rubinen; die Arme der sechsstrahligen Sterne begrenzen sechs dreieckige oder trapezförmige Rubinsektoren, die Sektorgrenzen schneiden sich entweder in einem kleinen, zentralen Punkt (oben links) oder gehen von den Ecken sechsseitiger, schwarzer (unten links und oben rechts), roter oder gelber (unten rechts) Kerne aus. - Durchmesser der polierten Scheibe unten rechts etwa 4,2 mm; diese Scheibe ist mit der in Abb. 3 gezeigten Scheibe identisch, wobei die Aufnahme deren Rückseite zeigt; die unterschiedlichen Durchmesser des gelben Kerns des Rubins auf beiden Seiten der Scheibe geben einen Hinweis auf dessen spitz zulaufende Form.



Abb. 6: Schnitt eines Trapiche-Rubins mit pyramidenförmig ausgebildetem Kern parallel zur c-Achse; der Kern ist meist rot, an einem Ende des Kristallbruchstücks jedoch schwarz gefärbt, in den Randbereichen sind Scharen parallel angeordneter, röhrenförmiger Einschlüsse vorhanden. – Durchmesser des Kristalls etwa 7,2 mm.



Abb. 7: Querschnitt eines Trapiche-Rubins mit gelben Sektorgrenzen, die sich in den äußeren Kristallbereichen zunehmend verbreitern. – Größe der polierten Scheibe etwa 4 × 6 mm.



Abb. 8: Querschnitt eines Trapiche-Rubins mit gelben Sektorgrenzen, die sich fiederförmig in die transparenten Rubinbereiche hinein erstrecken; in den Randbereichen sind dreieckige, gelbe Bereiche zu erkennen, welche starke Verwitterungserscheinungen aufweisen (oben). – Größe der polierten Scheibe etwa 7 × 8 mm.

Mikroskopische Untersuchung

Im Durchlicht sind die schwarzen und gelben Kerne, die sechs gelben Arme der Sterne und die dreieckigen, ebenfalls gelb gefärbten Randbereiche undurchsichtig (Abb. 9a, b). Ausgehend von den Grenzen der Kerne und von den Armen der sechstrahligen Sterne erstrecken sich Serien parallel angeordneter, röhrenförmig ausgebildeter Strukturen in die transparenten Rubine hinein (Abb. 10). In den Fällen, in denen die dreieckig oder trapezförmig ausgebildeten Rubinsektoren transparent erscheinen, sind die meisten der röhrenförmig ausgebildeten Strukturen auf schmale Bereiche in der Nachbarschaft der Grenze Kern/Rand oder auf schmale Bereiche parallel zu den die Sektorengrenzen bildenden Armen der Sterne beschränkt (Abb. 11), obwohl sich wenige einzelne Röhren auch durch die gesamten transparenten Rubinsektoren bis zu den äußeren Kristallflächen erstrecken (Abb. 6, 9a, 10). Bei Kristallen, bei denen die Rubinsektoren lediglich durchscheinend waren, wurde eine deutlich erhöhte Konzentration der röhrenförmig ausgebildeten Strukturen in diesen Bereichen beobachtet.

Die Untersuchung von Schliffen im Durchlicht ergab dieselben bereits geschilderten Konzentrationsunterschiede der röhrenförmig ausgebildeten Strukturen in verschiedenen Kristallbereichen, d. h. eine Beschränkung der meisten Röhren auf Zonen im Bereich der Grenze zwischen dem Kern und den transparenten Rubinsektoren und auf Zonen im Bereich der Arme der Sterne (Abb. 12a). Bei lediglich halbdurchsichtigen bis durchscheinenden Proben wurde dagegen eine deutlich höhere Konzentration röhrenförmig ausgebildeter Strukturen in den dreieckig oder trapezförmig ausgebildeten Rubinsektoren beobachtet (Abb. 12b). Bei einigen Proben schneiden sich die sechs Arme der Sterne in einem Schnittpunkt geringer Größe (Abb. 12b), bei solchen Rubinen ist dann praktisch kein Kern vorhanden. Bei anderen Proben wurden durchsichtige rote, undurchsichtige gelbe (Abb. 12a) oder ebenfalls undurchsichtige schwarze Kerne unterschiedlicher Größe beobachtet. Gelegentlich war zu beobachten, daß die Arme in Richtung auf die äußeren Bereiche der Kristalle deutlich breiter wurden, wobei die äußersten Zonen solcher breiten Arme häufig Verwitterungseinflüsse aufwiesen.

Bei höherer Vergrößerung, meist bei gekreuzten Polarisatoren, konnte festgestellt werden, daß die einzelnen röhrenförmig ausgebildeten Strukturen (Abb. 12a, b) in den Grenzzonen zwischen Kernen und transparenten Rubinsektoren und in den Armen mit doppelbrechenden Substanzen gefüllt sind (Abb. 13a), gelegentlich wiesen diese Röhren jedoch auch flüssige oder zweiphasige Füllungen (flüssig/gasförmig) auf (Abb. 13b). In allen diesen Grenzbereichen trat eine hohe Konzentration solcher

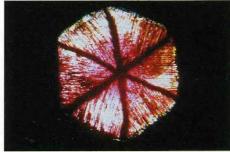


Abb. 9a: Querschnitt eines Trapiche-Rubins im Durchlicht; die Sektorgrenzen zwischen den dreieckigen Rubinbereichen erscheinen undurchsichtig. – Immersion, # Pol., Durchmesser der polierten Scheibe etwa 3.5 mm.



Abb. 9b: Querschnitt eines Trapiche-Rubins im Durchlicht; der Kern, die Sektorgrenzen zwischen den trapezförmigen Rubinbereichen und dreieckige, gelbe Randbereiche erscheinen undurchsichtig. – Immersion, # Pol., Durchmesser der polierten Scheibe etwa 7,5 × 8 mm.



Abb. 10: Querschnitt eines Trapiche-Rubins; parallel angeordnete, röhrenförmige Strukturen erstrecken sich, ausgehend von den sechs Sektorgrenzen sowie von den Grenzen des Kerns zum Rand hin, in die transparenten Rubinbereiche hinein. – Bildbreite etwa 2,6 mm.

Trapiche-Rubine



Abb. 11: Ausgehend vom gelben Arm eines sechsstrahligen Sterns erstrecken sich parallel orientierte, röhrenförmige Strukturen in die transparenten Rubinbereiche hinein. - Bildbreite etwa 0,5 mm.



Abb. 13a: Doppelbrechende Füllungen in parallel angeordneten, röhrenförmigen Strukturen. - Dicke des Schliffs etwa 200 μm, # Pol., Bildbreite etwa 0,4 mm (Aufnahme O. Medenbach).



Abb. 12a: Basaler Schnitt eines Trapiche-Rubins; röhrenförmig ausgebildete Strukturen, gefüllt mit doppelbrechenden Mineralen (Calcit und Dolomit), erstrecken sich von den Armen des sechsstrahligen Sterns und von der Grenze Kern/Rand in die sechs Rubinsektoren hinein, im Kern sind kleine, runde Gebilde eines doppelbrechenden Minerals angeschnitten. -Dicke des Schliffs etwa 200 µm, # Pol., Bildbreite etwa 1,75 mm (Aufnahme O. Medenbach).



Abb. 13b: Flüssigkeits- und Zweiphaseneinschlüsse (flüssig/gasförmig) in parallel angeordneten, röhrenförmigen Strukturen. - Dicke des Schliffs etwa 200 µm, # Pol., Bildbreite etwa 0,4 mm (Aufnahme O. Medenbach).



Abb. 12b: Basaler Schnitt eines Trapiche-Rubins; röhrenförmig ausgebildete Strukturen, gefüllt mit doppelbrechenden Mineralen (Calcit und Dolomit), erstrecken sich von den Armen des sechsstrahligen Sterns in die sechs Rubinsektoren hinein. -Dicke des Schliffs etwa 200 µm, # Pol., Bildbreite etwa 1,75 mm (Aufnahme O. Medenbach).

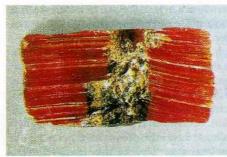


Abb. 14: Schnitt eines Trapiche-Rubins parallel zur c-Achse; die röhrenförmigen Strukturen sind um etwa 5° gegen die Basisfläche geneigt. - Durchmesser des Kristalls etwa 5,9 mm.

Röhren mit kristalliner, flüssiger oder zweiphasiger Füllung auf.

Die Untersuchung von Schnitten parallel zur c-Achse ergab, daß die röhrenförmig ausgebildeten Strukturen nicht exakt parallel zur Basisfläche der Korundkristalle orientiert sind, sondern um 5° geringfügig gegen diese Fläche geneigt sind (Abb. 14). Die Röhren sind somit genau senkrecht zu den dominanten Dipyramiden ω orientiert, welche mit der c-Achse der Kristalle einen Winkel von etwa 5° bilden.

In einigen schwarzen und gelben Kernen von polierten Schliffen wurden ebenfalls doppelbrechende Mineraleinschlüsse beobachtet, welche als kleine runde Punkte ausgebildet waren (Abb. 12a). Hierbei handelt es sich vermutlich um Querschnitte dünner Röhren, die senkrecht zur Basis der Kristalle orientiert sind. Offensichtlich verlaufen in den Kernen bestimmter Kristallbereiche auch einige Röhren mit doppelbrechenden Einschlüssen parallel zur c-Achse.

Bestimmung der Mineraleinschlüsse

Die doppelbrechenden Mineraleinschlüsse in den röhrenförmig ausgebildeten Strukturen wurden unabhängig voneinander durch Mikro-Ramanspektroskopie und durch Mikrosondenanalysen bestimmt. Bei allen Proben wurden von unterschiedlichen Röhrenfüllungen jeweils zwei Typen von Ramanspektren gemessen, die mit den aus der Literatur bekannten Spektren von Calcit und Dolomit sowie mit eigenen Referenzspektren gut übereinstimmten.

Mikrosondenanalysen der in den Röhren vorliegenden Festkörper bestätigten diese Ergebnisse und ergaben einige weitere Details ihrer chemischen Zusammensetzung. Auch mit diesem zweiten mikroanalytischen Verfahren konnte festgestellt werden, daß in allen Proben jeweils zwei Minerale als Einschlüsse vorlagen, nämlich ein magnesiumhaltiges, calciumreiches Mineral (Calcit) sowie ein Carbonat mit höheren Magnesiumund geringeren Calciumgehalten (Dolomit). Quantitative Analysen ergaben ein durchschnittliches Mg:Ca-Verhältnis von 7:93 für den magnesiumhaltigen Calcit und ein solches von 49:51 für den Dolomit. Eisengehalte wurden in diesen beiden Carbonaten analytisch nicht nachgewiesen.

Die röhrenförmigen Strukturen, welche in die transparenten Rubinsektoren hineinlaufen und dort enden, sind stets farblos. Ferner konnten in den Calcit- und Dolomitfüllungen solcher Röhren keine Eisengehalte gemessen werden. Aus diesen Ergebnissen läßt sich ableiten, daß die gelbe Färbung der meisten Arme der sechsstrahligen Sterne und diejenige einiger Kerne durch eine sekundäre Eisenfärbung der Röhren durch Verwitterungsvorgänge hervorgerufen wird.

Diese Vermutung wird durch die weiße Färbung einiger Arme bei nicht stark verwitterten Rubinen gestützt, ferner durch Röntgenfluoreszenzanalysen. Bei diesen Untersuchungen wurde bei zwei Proben, bei denen eine getrennte Untersuchung eines Rubinsektors ohne Bestandteile eines Arms, welcher nur wenige röhrenförmige Einschlüsse aufwies, sowie die Röntgenfluoreszenzanalyse eines Arms mit den angrenzenden Rubinbereichen möglich war, festgestellt, daß das Eisensignal des Kristallbereichs mit gelbem Arm etwa vier- bis fünffach stärker war als das Eisensignal des Rubinsektors ohne Bestandteile eines gelben Arms.

Durch Röntgenbeugungsuntersuchungen in Verbindung mit Mikrosondenanalysen konnte ferner festgestellt werden, daß die undurchsichtigen, gelben, dreieckig ausgebildeten Randbereiche einiger Kristalle aus sehr einschlußreichem Korund bestehen, wobei auch diese Kristallbereiche durch eisenhaltige Minerale gelb gefärbt sind, vermutlich ebenfalls durch Verwitterungsvorgänge.

Diskussion

Nomenklatur

Die hier beschriebenen Rubine weisen eine Anzahl struktureller Merkmale auf, die mit denen von Trapiche-Smaragden aus Chivor und Muzo in Kolumbien übereinstimmen. Bei beiden Mineralarten, d. h. bei Korund und bei Beryll, liegen Einkristalle vor, die durch eine hohe Konzentration von Einschlüssen in bestimmten Kristallbereichen in sechs dreieckige oder trapezförmige Wachstumssektoren unterteilt werden. Die unterschiedliche Form dieser Sektoren wird von der Anwesenheit eines sechsseitigen Kerns und von dessen Größe bestimmt. Die Arme der sechsstrahligen Sterne bestehen aus dem Wirtskristall (Rubin oder Smaragd) und Einschlüssen weiterer Minerale. Bei der Sternbildung handelt es sich somit nicht um einen Lichteffekt wie beim Asterismus, sondern um eine makroskopische Sektorteilung des Kristalls durch Einschlüsse. Diese sind bei den hier beschriebenen Rubinen Calcit und Dolomit, bei Smaragden aus Kolumbien liegt hauptsächlich Albit vor. Bei beiden Edelsteinvarietäten bestehen die Kerne allein aus dem Wirtskristall oder aus dem Wirtskristall und denselben Einschlüssen, die auch in den Armen der Sterne nachgewiesen werden konnten, wobei die Kerne typischerweise pyramidenförmig ausgebildet

Orientierte, röhrenförmig ausgebildete Einschlüsse sind im Grenzbereich zwischen dem hexagonalen Kern und den sechs äußeren Sektoren der Kristalle und in den Bereichen der sechs Arme konzentriert, sie erstrecken sich von diesen Grenzflächen aus in die sechs transparenten äußeren Rubinbzw. Smaragdsektoren hinein.

Bei den hier beschriebenen Rubinen sind die Röhren senkrecht zur dominanten Kristallform orientiert, d. h. senkrecht zur hexagonalen Dipyramide ω {14 14 28 3}. Bei Smaragden verlaufen die entsprechenden Röhren senkrecht zum hexagonalen Prisma erster Stellung m {1010}.

Zusammenfassend läßt sich somit angeben, daß sich für die meisten strukturellen Merkmale, die in der Literatur für Trapiche-Smaragde aus Kolumbien beschrieben sind, auch bei den hier untersuchten Rubinen ein entsprechendes strukturelles Merkmal angeben läßt. Es erscheint somit angemessen, den Ausdruck Trapiche nicht nur auf Smaragde aus Kolumbien mit Sektorteilung, sondern auch auf strukturell ähnlich ausgebildete Rubine anzuwenden. Der Ausdruck Trapiche sollte somit nicht auf eine bestimmte Mineralart (Smaragd) und auf ein bestimmtes Herkunftsland (Kolumbien) beschränkt werden.

Bildungsbedingungen

In der mineralogischen und edelsteinkundlichen Literatur findet sich eine intensive Diskussion über eine mögliche primäre oder sekundäre Entstehung der strukturellen Merkmale von Trapiche-Smaragden aus Kolumbien. Die Anordnung und Ausbildung der röhrenförmigen Einschlüsse in den hier beschriebenen Trapiche-Rubinen weist jedoch auf einen primären Ursprung der Sektorteilung in diesen Korunden, d. h. auf eine gleichzeitige Bildung des Wirtskristalls und der röhrenförmigen Einschlüsse hin.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß sich zunächst ein roter oder schwarzer Korundkristall bildete, der den späteren Kern der Trapiche-Rubine darstellt. Danach trat offensichtlich eine Veränderung der Wachstumsbedingungen der Rubine auf, welche die Bildung röhrenförmiger Einschlüsse in hoher Konzentration in den weiterwachsenden Kristallbereichen verursachte, zunächst an den äußeren Grenzflächen des Kerns. Im Verlauf des weiteren Kristallwachstums bildeten sich jeweils an den Grenzen der sechs dipyramidalen Wachstumssektoren weitere röhrenförmige Einschlüsse mit einer Orientierung senkrecht zu den wachsenden Kristallflächen. In Richtung parallel zur c-Achse bildeten sich röhrenförmige Einschlüsse in basalen Wachstumsbereichen, d. h. ebenfalls senkrecht zu der wachsenden Kristallfläche. In Bereichen mit einer deutlichen Ausbildung der Basisfläche bildeten sich Kerne mit röhrenförmigen Einschlüssen von Calcit und Dolomit, wogegen sich bei Kristallen ohne eine deutliche Ausbildung der Basisfläche lediglich kleinere Kerne oder Schnittpunkte zwischen den Armen der Sterne entwickelten.

Die unterschiedliche Ausbildungsform der hier beschriebenen Proben läßt sich durch deren relative Lage in der gesamten Abfolge der Bildung von Trapiche-Rubinen deuten: Kristallbruchstücke mit einem roten

und/oder schwarzen Kern an zumindest einem ihrer Enden bildeten sich zu einem früheren Zeitpunkt innerhalb der gesamten komplexen Wachstumsabfolge als solche Rubine mit gelben Kernen oder gelben Schnittpunkten der Arme der sechsstrahligen Sterne an beiden Enden eines Kristallbruchstücks.

Herkunft

Wie bereits anfangs erwähnt, wurde ein Teil der in dieser Arbeit beschriebenen Proben von den Autoren in Mae Sai, Nordthailand, aus größeren Partien von dort zum Verkauf angebotenen Rubinen ausgesucht. Für diese Rubine wurde von den Händlern einheitlich Mong Hsu in Myanmar als Herkunftsort der Steine angegeben, wobei das angebotene Rohmaterial die gemmologischen Merkmale von Mong Hsu Rubinen aufwies. Ferner stimmen einige Eigenschaften der hier beschriebenen Trapiche-Rubine mit den Merkmalen nicht erhitzter Rubine aus Mong Hsu überein: In beiden Fällen wird die dominante Kristallform aus der hexagonalen Dipyramide ω gebildet, außerdem zeigen Mong Hsu Rubine typischerweise einen Wechsel von roten mit dunkelvioletten bis schwarzen Kernbereichen und rote Ränder. Ein abrupter Wechsel der Bildungsbedingungen in der Wachstumsabfolge ist für Rubine aus Mong Hsu ebenfalls nachgewiesen. Zudem wurden Calcit und Dolomit als Komponenten des Muttergesteins beschrieben, aus welchem Mong Hsu Rubine stammen. Ein kürzlich beschriebenes Handstück aus Mong Hsu zeigt einen Rubinkristall in einem Calcitgang, der einen Dolomitmarmor durchzieht.

Einige Hinweise deuten jedoch auch auf Vietnam als Herkunftsland von Trapiche-Ruinen hin. So nannte einer der Händler, von dem ein Teil des in Bangkok erworbenen Untersuchungsmaterials stammt, Vietnam als Herkunftsland dieser Rubine (K. Siu, persönliche Mitteilung, 1995). Außerdem wurden einige Rubine mit ausgeprägter Sektorteilung vor etwa fünf Jahren in einer Partie von Rubinen aus Vietnam, wahrscheinlich aus Luc Yen, entdeckt (C. P. Smith, persönliche Mitteilung, 1996), und für einen erst kürzlich beschriebenen Rubin mit ausgeprägter Felderteilung wurde ebenfalls Vietnam als Herkunftsland angegeben (Koivula et al., Gems & Gemology, Vol. 30, 1994, No. 3, p. 197).

Vor kurzer Zeit erhielten wir weitere Informationen von in Südostasien tätigen Händlern, welche sowohl Myanmar (A. Schinke, persönliche Mitteilung, 1997) als auch Vietnam (C. Mora, persönliche Mitteilung, 1997) aus eigener Erfahrung als Herkunftsländer von Trapiche-Rubinen nannten. Aufgrund der Angaben der in diesen Ländern tätigen Händler erscheint es somit wahrscheinlich, daß Trapiche-Rubine aus Vorkommen in beiden Ländern, d. h. aus Myanmar und aus Vietnam, stammen.

Trapiche-Rubine



Abb. 15: Als Cabochon geschliffener, weißlich grauer Trapiche-Saphir von 6,59 ct im Vergleich zu einem Trapiche-Rubin von 1,55 ct; bei beiden Steinen schneiden sich die Arme eines hexagonalen Sterns in einem kleinen, zentralen Punkt, sie begrenzen sechs dreieckig ausgebildete Saphir- bzw. Rubinsektoren. – Durchmesser des Saphirs etwa 11 mm, Größe des Rubins etwa 6,2 × 6,8 mm.

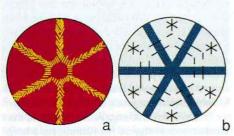


Abb. 16: Schema der Orientierung struktureller Merkmale in den untersuchten Trapiche-Rubinen und dem Trapiche-Saphir; bei Trapiche-Rubinen (a) entsteht die Sektorteilung durch röhrenförmig ausgebildete Strukturen (als kleine gelbe Striche gezeichnet), die senkrecht zu den dominanten Kristallflächen (hexagonale Dipyramiden (a) der Korundkristalle orientiert sind; beim Trapiche-Saphir (b) werden die Sektorgrenzen durch Zonen mit einer hohen Konzentration von Phlogopiteinschlüssen gebildet, die senkrecht zu Wachstumsflächen (Prismenflächen und/oder hexagonalen Dipyramiden) verlaufen, Rutilnadeln (als kleine, sechsstrahlige Sternchen gezeichnet) in den weiß reflektierenden Bereichen sind parallel zu den Wachstumsflächen (als gestrichelte Linien gezeichnet) orientiert.

Zusammenfassung

Trapiche-Rubine stellen eine neue Varietät des Edelsteinminerals Korund dar, sie entsprechen in ihrem Erscheinungsbild Trapiche-Smaragden aus Kolumbien. Wie diese Smaragde bestehen auch die Rubine aus sechs dreieckig oder trapezförmig ausgebildeten Sektoren, die durch die Arme eines sechsstrahligen Sterns begrenzt werden, wobei zusätzlich noch ein sechsseitiger Kern vorhanden sein kann. Die Arme bestehen aus Rubin und Fremdeinschlüssen, welche im Bereich der Arme in hoher Konzentration und in definierter Orientierung in den Wirtskristall eingeschlossen wurden. Bei Trapiche-Rubinen enthalten diese röhrenförmig ausgebildeten Einschlüsse feste (Calcit und Dolomit) sowie flüssige und zweiphasige Füllungen, sie sind senkrecht zu den dominanten Kristallflächen des Rubins orientiert. Obwohl sich aus mehreren Merkmalen eine primäre Entstehung dieser orientierten Einschlüsse ableiten läßt, so sind die Wachstumsmechanismen der sechsstrahligen Sektorbegrenzungen bislang noch nicht im Detail geklärt.

Trapiche-Saphir

Erst kürzlich wurde von DelRe, Gems & Gemmology, Vol. 30, 1994, No. 2, pp. 116-117, ein neuer Typ von Trapiche-Smaragden beschrieben, der sich in seinen strukturellen Merkmalen deutlich von den bekannten Trapiche-Smaragden aus Kolumbien unterschied. Einige Kristalle dieses neuen Smaragdtyps stammten aus dem Staat Goiás in Brasilien, sie bestehen aus einem sechsseitigen Kern, an dessen Seitenkanten sich sechs dunklere, nahezu undurchsichtige, trapezförmig ausgebildete Zonen anschließen. Diese dunkleren Zonen werden durch dünne, grün gefärbte Zonen begrenzt, welche von den Ecken des sechsseitigen Kerns ausgehen. Das Material aus Brasilien läßt sich somit als eine Art "fotografisches Negativ" der bekannten kolumbianischen Trapiche-Smaragde bezeichnen.

Eine ähnliche Beziehung läßt sich zwischen Trapiche-Saphiren und Trapiche-Rubinen aufzeigen. Etwa zehn Saphire mit einer deutlichen Sektorteilung wurden auf der Basler Messe 1996 von einem Händler angeboten. Ein Stein dieser Partie von 6,59 ct konnte von einem der Autoren (H. A. H.) erworben werden. Der Verkäufer gab an, daß er die gesamte Partie im selben Jahr in Myanmar erworben hätte, wobei dort als Herkunftsort die Gegend von Mong Hsu genannt worden sei (H.-J. Engelbrecht, persönliche Mitteilung, 1996).

Der Saphir besitzt eine weißlich graue Färbung und zeigte sechs nahezu dreieckig ausgebildete, weiß reflektierende, undurchsichtige Sektoren. Diese Zonen werden durch schmalere Streifen mit dunkelgrauer Färbung begrenzt. Es entsteht somit der optische Eindruck eines sechsstrahligen, unbe-

weglichen Sterns (Abb. 15). Die weiß reflektierenden Zonen erinnern an die bekannte "Seide" in Saphiren verschiedener Fundpunkte, z. B. in Steinen aus Sri Lanka oder aus Myanmar. Dieser optische Eindruck wurde durch eine mikroskopische Untersuchung bestätigt, bei welcher in den weiß reflektierenden Bereichen des Steins eine dichte Konzentration von Rutilnädelchen beobachtet werden konnte. Ferner konnten Wachstumsstrukturen festgestellt werden, welche von Prismenflächen und/oder von hexagonalen Dipyramiden stammten. Die Arme des sechsstrahligen Sterns waren jeweils senkrecht zu diesen Wachstumsflächen orientiert (Abb. 16). Somit stehen die dunkleren Arme der sechsstrahligen Sterne in diesen Trapiche-Saphiren senkrecht zu den Armen der hier beschriebenen Trapiche-Rubine. Es liegen somit ähnliche Verhältnisse wie bei den beiden bereits erwähnten Typen von Trapiche-Smaragden vor.

Die mikroskopische Untersuchung des Trapiche-Saphirs ergab ferner, daß in den Bereichen der Arme des sechsstrahligen Sterns gelbe Mineraleinschlüsse in hoher Konzentration auftreten. Nachdem die Rückseite des Saphir-Cabochons sorgfältig angeschliffen und poliert worden war, konnten diese Einschlüsse im Elektronenmikroskop in Verbindung mit einem energiedispersiven Analysensystem untersucht und als Phlogopit identifiziert werden. Die Phlogopiteinschlüsse, die bei dem Wachstum des Saphirkristalls bevorzugt in den Bereichen der sechs Arme des Sterns eingelagert wurden, beeinflussen die dunkelgraue Färbung dieser Arme und somit die Sternbildung.

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. O. Medenbach, Ruhr-Universität Bochum, für die Anfertigung von Röntgenpulveraufnahmen sowie für die Mikrofotografie polierter Schliffe und Dünnschliffe.

Anschriften der Verfasser

Dr. Karl Schmetzer Marbacher Straße 22b D-85238 Petershausen

Prof. Dr. Henry A. Hänni SSEF Schweizerisches Gemmologisches Institut Falknerstraße 9 CH-4001 Basel, Schweiz

Dr. Heinz-Jürgen Bernhardt Institut für Mineralogie Ruhr-Universität D-44780 Bochum

Dr. Dietmar Schwarz Gemmologisches Labor Gübelin Maihofstraße 102 CH-6000 Luzern 9, Schweiz.