

NATURWISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN
ZUR FRAGE DER ROHSTEINQUELLEN FÜR
FRÜHMITTELALTERLICHEN ALMANDINGRANATSCHMUCK
RHEINFRÄNKISCHER PROVENIENZ

Im frühen Mittelalter tritt eine einzigartige Schmuckgattung in den Vordergrund, die über drei Jahrhunderte ihren Niederschlag in den Gräberfeldern der europäischen Völkerschaften findet: Der »Granat-Cloisonné«-Stil¹. Prägend für den wahrscheinlich in der Schwarzmeerregion² wurzelnden Schmuck ist die Dominanz von rotem Almandingranat, der in dünnen, oft beidseitig polierten Scheibchen flächenhaft auf den jeweiligen Schmuckobjekten aufgebracht ist. Auffällig ist die Beobachtung, daß dieser Edelstein³ nicht nur in Zusammenhang mit Objekten aus ausgesprochen fürstlichen Gräbern vorkommt, sondern eine große Anzahl von Funden aus Reihengräberfeldern mit den roten Granatplättchen verziert ist. Dazu zählen Gewandfibeln, Gürtelschnallen, Ringe und Ohrringe aber auch Taschenbügel, Schwertknäufe und Reitgeschirr. Dementsprechend benötigte man im frühmittelalterlichen Europa eine immense Menge an Rohmaterial, doch woher bezog man damals rote Granate? Weder schriftliche Quellen⁴ noch archäologische Befunde geben eine eindeutige Antwort auf die Frage, ob lokale europäische Vorkommen ausgebeutet wurden oder der Granat ein aus fernen Ländern importiertes Luxusgut war. Neben diesem rein handelsgeschichtlich interessanten Aspekt ist das Problem der Rohsteinquellen direkt mit dem Wert dieser Steine als Handelsware und folglich mit dem sozialen Stellenwert der Person verknüpft, der ein granatgeschmücktes Objekt mit ins Grab gegeben wurde. Nicht zuletzt kann ein Nachvollziehen der alten Handelsrouten auch weitere Hinweise auf den stilistischen Ursprung der Schmuckgattung geben und vielleicht sogar deren relativ plötzliches Verschwinden gegen Ende des 7. Jahrhunderts erklären.

Obwohl diese Frage bis heute von verschiedenen Autoren mit den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Ansätzen bearbeitet wurde (s. S. 3-7), stand die eindeutige Identifizierung der Rohsteinquellen für rote Granate im frühen Mittelalter nach wie vor aus⁵. Daß weiterhin ein enormes Interesse an der Beantwortung dieser Frage bestand, zeigen Arbeiten neueren Datums, für die Granatschmuck aus unterschiedlichen Regionen Europas untersucht wurde (Farges 1992 u. 1998, Schüssler et al. 1997, Mannerstrand & Lundqvist im Druck, Brandstätter & Niedermayr 1999). Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit der chemischen Zusammensetzung vornehmlich rheinfränkischer Cloisonnégranate und dem Vergleich mit Granaten bekannter geographischen Herkunft.

¹ Cloisonné im engeren Sinne bezeichnet eine Spielart der Emailtechnik, bei der das Pulver in Zellen aus Metallstegen eingeschmolzen wird. Die begrifflichen Zusammenhänge zwischen Granat und Almandin werden genauer erläutert S. 7).

² Eine ausführliche Diskussion dieser Frage siehe u.a. Rupp 1937, Roth 1979.

³ Der bisweilen für Almandingranate verwendete Begriff »Halbedelstein« entspricht nicht mehr aktueller mineralogischer bzw. gemmologischer Nomenklatur.

⁴ Die in die Zeit gehörenden Lapidarien z.B. des Isidor von

Sevilla bzw. des Epiphanius von Salamis sind eng an die jeweiligen Angaben zur Herkunft der Granate in den entsprechenden Kapiteln der »Naturalis historia« des Plinius angelehnt. Die von Roth (1980) zitierte Passage im Reisebericht des Kosmas Indikopleustes gibt nicht an, wohin die aus Indien kommenden Steine von den Karawanenumschlagplätzen aus weitertransportiert wurden.

⁵ Es wurden auf Tagungen bereits zwei Vorberichte über die Untersuchungen zur vorliegenden Arbeit publiziert (Greiff 1996 und 1997).

Seit die Altertumforschung des 19. Jahrhunderts den »barbarischen« Schmuck als Forschungsobjekt entdeckte, befaßte man sich auch mit der Frage nach der Natur der so zahlreichen roten Einlagen, obwohl natürlich der geographische Ursprung des Schmuckstils im Vordergrund des Interesses stand (z.B. Hampe 1899). Ein erster Versuch der naturwissenschaftlich orientierten Identifizierung der roten Einlagen erfolgte durch Weerth im Jahre 1882, der das Material fälschlicherweise als roten *Zirkon*⁶ ansprach. Daß sich diese Sichtweise jedoch nicht durchsetzte, zeigt u.a. der Bericht von Th. Hampe (loc. cit. 38) über ostgotischen Frauenschmuck im Germanischen Nationalmuseum Nürnberg, welcher von »orientalischen Almandinen« spricht⁷. Spätere Untersuchungen von Rupp (loc. cit.) und anderen wiesen immer wieder rote Granate als Einlagen nach⁸, obwohl gerade im westgotischen Bereich auch viele Glaseinlagen beobachtet werden (Rupp, loc. cit. 11f.). Andere rote Edelsteine, z.B. Rubin, Spinell, Zirkon, Turmalin, scheinen nicht als Einlagen gedient zu haben.

Granat in den antiken Schriftquellen

Der Mangel an unabhängigen schriftlichen Quellen während des frühen Mittelalters betrifft auch das Thema Edelsteinhandel und -verarbeitung, so daß man weitgehend auf die diesbezüglichen Aussagen der antiken Schriftsteller angewiesen ist. Vor allem Theophrast (de lapidibus, 4. Jh. v. Chr.) und Plinius Secundus (Nat. hist. 36 u. 37, 1. Jh. n. Chr.) sind als wichtige Referenzen zu nennen. Bei der Auseinandersetzung mit dem antiken Schriftgut erschwert die oft unklare Zuordnung eines antiken Edelsteinnamens zu einer uns heute bekannten Steinspezies die Diskussion um die damals bekannten Vorkommen⁹. Der von dem Griechen Theophrast beschriebene *anthrax*¹⁰, bzw. dessen Diminutiv *anthrakion*, besitzt zwar einige Eigenschaften des Granats, aber auch die Korundvarietät Rubin und andere rote Minerale scheinen diesem Begriff zugeordnet (Caley & Richards 1956). Nach diesem Autor kommen die besten Qualitäten des *anthrax* aus Karthago, aus der Gegend um Marseille, aus Ägypten vom ersten Katarakt, aus Syene bei Elephantine (ebenfalls Ägypten) und dem antiken Psepho¹¹. Indien wird zwar von Theophrast nicht erwähnt, dafür aber einige Jahrhunderte später von Plinius, der sich ansonsten eng an die griechische Vorlage hält. Theophrast spricht zusätzlich von einer dunklen Varietät des *anthrakion* aus Orchomenos¹², aus der Spiegel hergestellt wurden und von Granatfunden auf Chios. Die Beschreibung dieser Steine und jener mit den Fundortangaben »Troezen« und »Korinth« erwecken jedoch den Eindruck, daß es sich nicht um den hier interessierenden Granat handelt.

⁶ Zirkon ist ein Silikat der Formel $Zr SiO_4$, das in Form seiner edlen Varietät »Hyacinth« allerdings seltener als Granat vorkommt. Die »Hyacinthe« oder »Jacinthe« der Antike beziehen sich jedoch auf den blauen Saphir, wie sowohl von Caley & Richards (1958) wie auch von Friess (1980) überzeugend dargestellt wurde (s.a. Anm. 9).

⁷ Es muß an dieser Stelle deutlich darauf hingewiesen werden, daß im Edelsteinsektor des 19. Jahrhunderts die Verwendung des Begriffes »orientalisch« nicht generell als Herkunftsbezeichnung gedacht war, sondern eher im Sinne einer im Handel geläufigen Bezeichnung einer bestimmten Qualitätseinstufung gebraucht wurde.

⁸ Eine ausführliche Darstellung der diversen Untersuchungen durch verschiedene Autoren findet sich bei Arrhenius (1985, 26. 27).

⁹ Die moderne mineralogische Klassifizierung beruht auf chemischen Gesichtspunkten und ist somit erst seit der Neuzeit in Gebrauch. Bis dahin war die äußere Form, die Farbe und andere direkt zugängliche Eigenschaften wie Glanz und Härte eines Minerals ausschlaggebend für die Zuordnung zu einem bestimmten Mineraltypus (Lüschen,

1968). Dabei kam es häufig zu einer Zusammenfassung völlig verschiedener Substanzen unter einem Namen (z.B. Smaragd, Jaspis, Chrysokoll und Malachit als *smaragdos* bei Plinius), es wurden aber auch bloße Farbvarietäten ein und desselben Minerals für verschiedene Spezies gehalten (Die rote und blaue Varietät des Korundes Rubin und Saphir als *apyroti* und *hyacinthos*, s. Ball 1950). Andere Namen wiederum unterlagen im Laufe der Jahrhunderte einem Bedeutungswandel. So wurde aus dem eben genannten Saphir *hyacinthos* die heutige Bezeichnung der rötlichen Farbvarietät des Zirkons, während die griechische Bezeichnung *saphiros* für den Lapis Lazuli stand.

¹⁰ Anthrax (gr.) = Kohle, bezieht sich wahrscheinlich auf das oft schwärzlich erscheinende tiefe Rot vieler Granate, das im Gegenlicht betrachtet wie das Glühen eines Kohlestückchens wirkt.

¹¹ Das antike Psepho, auch Psebo oder Pseboa liegt am heutigen Tana-See, südlich von Merowe im heutigen Äthiopien (diese Angaben verdanke ich Frau Dr. Kilian, RGZM).

¹² Orchomenos liegt auf der Peloponnes westlich von Mykene und nördlich von Tripolis.

Mit dem lateinischen *carbunculus*¹³ bei Plinius (Ball 1950 bzw. Eichholz 1962) verbinden sich die gleichen Definitionsprobleme wie mit dem griechischen *anthrax*. Plinius faßt in seiner *Naturalis Historia* (27, 35-36) die Ausführungen diverser griechischer und lateinischer Gelehrter zum Thema *carbunculus* zusammen. Verschiedene Farbnuancen, Steine unterschiedlicher Qualität und Herkunftsorte treten dabei als eigene Subspezies des *carbunculus* auf. Plinius nennt, neben den bereits bei Theophrast aufgeführten, als Fundorte: *Carbunculi* aus Indien, garamantische *Carbunculi*¹⁴ aus Karthago, solche aus Äthiopien, aus Orthosia bei Alabanda¹⁵, bzw. Milet¹⁶ (beides Kleinasien), sowie aus Lissabon. Die von Theophrast und Plinius angeführten Vorkommen des *anthrax* bzw. des *carbunculus* bezeichnen sowohl Orte, die als zentrale Anlaufpunkte des damaligen Seehandels bekannt waren, wie Karthago, Marseille und Lissabon, als auch Zentren der Steinbearbeitung wie Alabanda¹⁷. Die Quelle dieser Edelsteine bleibt im Dunkeln, zusätzlich erschwert durch die mineralogische Mehrdeutigkeit der antiken Steinnamen.

Bisheriger Kenntnisstand

Eine erste ausführliche Auseinandersetzung mit den Rohstoffquellen für den frühmittelalterlichen Schmuck erfolgte in ihrer Dissertation durch Hertha Rupp (1937). Sie versucht die Verknüpfung zwischen der Herkunft der Einlagentechnik und dem betreffenden Rohmaterial herzustellen. Dabei zieht sie entsprechende Grabinventare, Verwandtschaften in der Ornamentik, Münzfunde und Berichte über Handelsbeziehungen für den Aufbau ihrer Argumentationskette heran, um die zeitlichen und geographischen Wurzeln der polychromen Einlagentechnik im indischen Einflußbereich zu belegen. Dabei kam dem südlichen Rußland mit seinen im Lauf der Zeit wechselnden Völkerschaften eine wichtige Vermittlerrolle auf der Handelsroute über den Oxus und das Kaspische Meer zu. Das Verschwinden der Zelleinlage aus den fränkischen Grabinventaren im Laufe des 7. Jahrhunderts sieht die Autorin hervorgerufen durch kriegerische Auseinandersetzungen, besonders mit den Arabern, die sowohl die alten Karawanenstraßen wie auch den Seehandel nachhaltig störten, was einen weiteren Beleg für Indien als Herkunftsland der Rohsteine darstelle¹⁸.

Daß man sich auch im Jahre 1957 noch auf Plinius berief, zeigen die Aussagen von E. Salin, der die Insel Ceylon und das türkische Alabanda als Quellen für die merowingischen Cloisonné-Einlagen favorisiert¹⁹. Die böhmischen Granate sind seiner Meinung nach als zu klein für die Herstellung von Einlagen anzusehen²⁰. Betrachtet man jedoch die Ausführungen von H. Roosens und D. Thomas-Goorieckx (1970, 12), so finden sich in der Goldscheibenfibel von Rosmeer böhmische Granate, eine Aussage, welche auf der Mikroskopie der Mineraleinschlüsse in den 48 Einlagen beruht.

¹³ *Carbunculus* (lat.) = Kleine Kohle entspricht also dem griech. *anthrakion*. Die Bezeichnung »Karfunkelstein« leitet sich von dem lateinischen Begriff ab.

¹⁴ Die Garamanten waren ein handelsreibender Nomadenstamm im Gebiet der Fezzan-Oase.

¹⁵ Hiervon wird die Bezeichnung »Almandin« abgeleitet. Alabanda, das heutige »Araphisar« im türkischen Menderes-Gebirge, war als antikes Schleifzentrum bekannt (Plinius, *Nat. hist.* 37, 26: ... et Alabandicos in Orthosia Cariae nascentes, sed qui perficiantur Alabandis). Orthosia entspricht dem modernen »Orthas«.

¹⁶ Milet an der türkischen Küste ist nicht weit entfernt von dem unter Anm. 15 erwähnten Alabanda.

¹⁷ Die Entwicklung von Alabanda zu einem Schleifzentrum wurde von der Existenz zahlreicher Schmirgelvorkommen im sogen. »oberen Marmorgürtel« des Menderes Komplexes (Dürr et al. 1995) begünstigt. Im Jahre 1952 gab es 57

Schmirgelvorkommen in diesem Gebiet (Ryan 1957). An mehreren Stellen findet man Granate in der »unteren Schieferhülle«, deren Ausbeutung aber in keiner Weise belegt ist und auch der örtlich ansässigen Bevölkerung ist nichts dementsprechendes bekannt (persönl. Mitt. Prof. Dürr/Mainz, Prof. Dora/Izmir).

¹⁸ In einem anderen Zusammenhang sieht G. Friess (1980, 19) gerade in der Eroberung Persiens durch die Araber im 7. Jh. die Ursache für die Übermittlung des Wissens um Edelsteine aus dem indischen Kulturkreis nach dem Abendland.

¹⁹ Salin 1957, 223.

²⁰ Die mangelnde Größe der böhmischen Granate und der Umstand, daß sie von Plinius nicht erwähnt wurden, ist ein häufig angeführtes Argument, daß die böhmischen Granatvorkommen damals nicht bekannt waren. Als Beleg für eine Nutzung der böhmischen Granate für Schmuckzwecke in der Frühgeschichte führt Ball (1950, 53) gebohrte Gra-

Diese Methode wurde 1963 bereits von dem Mineralogen O. Mellis für eine von B. Arrhenius initiierte Untersuchung schwedischer Schmuckobjekte mit Granateinlagen angewandt, ohne jedoch zu einer zufriedenstellenden Aussage über deren geographische Herkunft zu gelangen. Mit der mineralogischen Untersuchung von schwedischen Granaten der Vendelzeit befaßte sich J. Löfgren (1973). Es handelte sich um einen von der Insel Gotland stammenden Komplex aus 285 kleinen Granatrohsteinen, von denen insgesamt 55 Stück diversen physikalischen Untersuchungen, zwei Proben davon zusätzlich einer chemischen Analyse unterzogen wurden. Die Ergebnisse wurden dahingehend interpretiert, daß nur ein granatführendes Gestein aus Sjönevad bei Halland (Schweden) als Ursprung in Frage kommt²¹.

Die ausführlichen Recherchen des Kunsthistorikers A. Lipinsky (1975) zur Verbreitung der Lagerstätten roter Granate in Europa wurden bisher in der einschlägigen Literatur wenig beachtet. Er hält die Ausbeutung von lokal vorhandenen Quellen in der Nähe des jeweiligen Siedlungsgebietes der Völker für wahrscheinlich. So sieht er in Granatvorkommen in der Gegend des spanischen Badajoz die Hauptquelle für den Schmuck der Visigothen²², während rumänische Granatlagerstätten in den Karpaten, dem Banat und der Dobrogea Rohsteine für die Schmuckherstellung der osteuropäischen Völker geliefert hätten. Der fränkische Schmuck wiederum basiert seiner Ansicht nach auf Rohsteinen, die aus dem Tiroler Passeiertal stammen, eine Meinung, die er auch an anderer Stelle (Lipinsky 1978) ausführlich darlegt²³.

Einen interessanten Aspekt brachte Roth (1980) in die Diskussion ein. Unter Verwendung von archäologisch relevanten Funden des Mittelmeergebietes und diverser antiker wie mittelalterlicher Quellen zitiert H. Roth mit dem Kaufmann Kosmas Indikopleustes einen Zeitzeugen des mittleren 6. Jhs. n. Chr. Dieser berichtet vom mannigfachen Warenumsatz an den Küsten Indiens und Sri Lankas (dem antiken Taprobane), wo u.a. auch *alabandenum* exportiert wurde, auch wenn daraus nicht hervorgeht, ob der Westen Empfänger dieser Waren war.

Die Frage nach den Rohstoffquellen stand für Bimson et al. (1982) nicht an primärer Stelle. Sie machten vielmehr den Versuch, mit semiquantitativen chemischen Analysen an den Granateinlagen des Schiffs-

natperlen aus bronzezeitlichen Gräbern dieser Region an, freilich ohne nähere Angaben der Quelle. Nachforschungen der Autorin bei tschechischen Vorgeschichtlern ergaben, daß dort nichts Entsprechendes bekannt ist (persönl. Mittlg. V. Saldová, 1995) und Ball wohl einer Fehlinformation unterlag. Dagegen muß das Argument der Plättchen-Dimension ein wenig relativiert werden; denn es ist zwar korrekt, daß das Gros der böhmischen Granate sehr klein ist, aber doch ein nicht zu unterschätzender Teil der Steine zumindest für die gängigen Einlagengrößen bis 0,5 cm Streckung zu gebrauchen wäre. Bei einem auf Granat spezialisierten Idar-Obersteiner Händler konnte die Autorin für ihre Untersuchungen Material aus einem Beutel entnehmen, der wohl ein bis zwei Kilo böhmische Granate enthielt, die alle knapp um 0,5 cm im Durchmesser lagen.

Viel gewichtiger als die angeführten Bedenken wiegen die Einschränkungen, die durch die mineralogische Natur dieser böhmischen Granate gegeben sind. Bei den frühmittelalterlichen Einlagen handelt es sich meist um sogenannte *Almandine* (s. a. »Mineralogisch-geologische Vorbemerkungen«), während die böhmischen Steine Vertreter einer anderen Granatspezies, nämlich *Pyrope*, sind. Es gibt nur wenige Beispiele für die Verwendung von *Pyrope*: 1. Bei einer Goldblechscheibenfibula aus Kaltenwestheim, deren Einlagen chemisch untersucht wurden (Pasch 1985). 2. Bei den Stücken aus Kertsch, bei denen die Identifikation als *Pyrope* nicht näher beschrieben ist (Damm 1988, 83). 3. Im Kreuz des heiligen Cuthbert (Battiscombe 1956, 542 ff.), die aufgrund ihrer Lichtbrechung zum Teil als *Pyrope* identifiziert worden sind. Neuere Arbeiten von Farges

(1992 u. 1998) bzw. Schüssler et al. (1997) zeigen, daß unter Granaten in frühmittelalterlichen Objekten auch pyropreiche Granate auftreten; in den späten Goldschmiedearbeiten des 7. Jhs. gar überwiegend, die anstelle der flächendeckenden Cloisonné-Granate eher über mehrere kleine Einzelsteine verfügen.

²¹ Diese chemischen Analysen weichen von den für die vorliegende Arbeit untersuchten rheinfränkischen Granaten ab. Sie zeigen keine Verwandtschaft zu den in Paviken auf Gotland gefundenen Steinen. Ob diese Lagerstätte mit der von Mannerstrand & Lundqvist (z. Publik. einge.) gefundenen übereinstimmt, kann bis zum Erscheinen dieser Publikation noch nicht festgestellt werden.

²² Dies widerspricht der Annahme Rupps (1937, 15), daß den Visigothen eine andere Rohsteinquelle als den Franken zur Verfügung stand. Im westgotischen Bereich mußte man sich nach Rupp schon früh auf Glaseinlagen beschränken, da man von den alten Rohsteinquellen abgeschnitten war. Leider konnten diese Vorkommen nur mit Hilfe der Angaben bei Lipinsky nicht näher lokalisiert werden, und es lag dementsprechend auch kein Material für eigene chemische Untersuchungen vor.

²³ S. 366, Anm. 25 seines Artikels. Die umfassenden Studien der geologisch- mineralogischen Literatur sind zwar fundiert, doch ist es nicht klar, ob er darüber hinaus jemals Steine aus diesen Vorkommen zu Gesicht bekommen und im Hinblick auf ihre Ähnlichkeit und Verwendbarkeit kritisch bewertet hat.

²⁴ Die in diesem Zusammenhang wichtigste Publikation aus dem Jahre 1985 greift alle relevanten Aspekte ihrer voran-

graves von Sutton Hoo die Objekte zu gruppieren, um damit mögliche Verwandtschaften zu fränkischen, südrussischen und skandinavischen Cloisonné-Objekten aufzuzeigen. Es gelang mit Hilfe multivariater statistischer Methoden, einen Großteil der Sutton Hoo-Granate mit fränkischem Material zur Deckung zu bringen.

Die umfassendste Darstellung zu diesem Thema erfolgte durch B. Arrhenius (1985), die sich mit den verschiedensten Aspekten des frühmittelalterlichen Granat-Cloisonné befaßte²⁴. Sie setzte sich mit geologischen und mineralogischen Aspekten auseinander, um zu der Schlußfolgerung zu gelangen, daß die Rohsteinquellen für fränkische Objekte wahrscheinlich im Südwesten Böhmens zu finden sind, während Granatvorkommen im südwestlichen Österreich für ungarischen Schmuck ausgebeutet wurden. In Skandinavien verwendete Granate könnten dagegen eventuell aus Kleinasien stammen²⁵.

gegangenen Arbeiten auf, die daher nicht im einzelnen diskutiert werden sollen.

²⁵ Obwohl B. Arrhenius ein bewundernswertes Engagement bei der Aneignung mineralogischer Fachkenntnisse gezeigt hat, ergibt sich in der Interpretation der entsprechenden Ergebnisse doch die ein oder andere methodische Schwäche. Ohne ihr Verdienst schmälern zu wollen, sollen hier einige Aspekte, die in direktem Zusammenhang mit ihren Schlußfolgerungen stehen, diskutiert werden, zumal es sich um ein in der Frühgeschichtsforschung vielbeachtetes Standardwerk handelt:

Ihre Ablehnung, die chemische Zusammensetzung der Granate für einen Vergleich zwischen frühmittelalterlichem Schmuck und Granaten aus bekannten Lagerstätten als Referenz heranzuziehen (S. 21), ist nicht nachzuvollziehen, denn die von ihr zur Gruppierung herangezogenen »d-Werte« sind, wie alle anderen physikalischen Eigenschaften (Lichtbrechung, Dichte etc.) auch, nur ein Abbild der chemischen Zusammensetzung und direkt abhängig von dieser. Im Gegenteil stellt diese Reduktion der im Prinzip voneinander unabhängigen chemischen Komponenten auf eine einzige Variable eine völlig unnötige Beschränkung dar. Es ist zwar richtig, daß viele Granate einen sogenannten chemischen »Zonarbau« aufweisen, jedoch sind gerade die frühmittelalterlichen Granate in sich recht homogen zusammengesetzt, wie auch an anderen Granaten in Edelsteinqualität häufig beobachtet wird. Die Wahl einer chemischen Analyseverfahren, die sozusagen über einen möglicherweise vorhandenen Zonarbau integriert und damit eine charakteristische Gruppierung zusammengehöriger Granate ermöglicht, ist natürlich Voraussetzung.

Die Schlußfolgerungen von B. Arrhenius bauen maßgeblich auf drei Punkten auf: 1. Auf den Aussagen der antiken Schriftsteller, 2. auf den für die Anfertigung der Plättchen notwendigen Eigenschaften der Rohsteine und 3. auf dem Vergleich der »d-Werte« (= Abstände von Ebenen im Kristallgitter) zwischen Schmuckgranaten und einigen wenigen Referenzgranaten bekannter geographischer Herkunft. Zu 1.: Die Zuschreibung von Theophrastus' *anthrax* zum heutigen Pyrop-Granat aufgrund der Häufigkeitsverteilung der diversen Granatspezies in Sammlungen antiker Gemmen (S. 24) ist mit äußerster Vorsicht zu betrachten, denn die Zuordnung der Objekte zu verschiedenen Granatspezies erfolgte rein auf der Basis ihrer Farbe. Dies ist ein mehr als fragwürdiges Verfahren.

Zu 2.: Um die Suche nach geeignetem Granat-Vergleichsmaterial einfacher zu gestalten, beschränkt sich B. Arrhenius auf Granate solcher Vorkommen, die überhaupt die von ihr postulierten Grundvoraussetzungen für die Plättchen-

herstellung mitbringen. Sie seien nur durch Spalten entlang von »schiefrigen Schwächezonen« zu erzeugen, die lediglich bei metamorph entstandenen Granaten zu finden sind. Sie stützt diese Aussage auf die mikroskopische Oberflächenstruktur, die Angaben bei Brückmann (1773) zur Hitzebehandlung böhmischer Pyrope und die angeblich fehlende Spaltbarkeit des Minerals Granat.

Dazu läßt sich folgendes bemerken: Die frühmittelalterlichen Granate sind zum Großteil ausgezeichnet poliert, d.h. jene dem ursprünglichen Teilungsprozeß zuzuschreibenden Spuren sind zerstört. Außerdem bringt ihre Aussage die direkte Schlußfolgerung mit sich, daß gewölbt oder gar mugelig geschliffene Granate der damaligen Epoche einer anderen Quelle entstammen müssen, da größere »schiefrige« Stücke den strapaziösen Bearbeitungsprozeß keinesfalls unbeschadet hätten überstehen können. Das von dem Arzt und Naturforscher Brückmann beschriebene Verfahren bezog sich auf eine allgemeine Beobachtung des Verhaltens beim Erhitzen und nicht auf einen gezielten Versuch, den Granat zu spalten (S.130): »Böhmischer Granat wurde in zweistündiger Calcination leichter, behielt Farbe und Klarheit, zerbrach endlich und bekam auf seiner Oberfläche eine Haut. Für sich schmolz er zu einem schwarzen Glase.« Die Spaltbarkeit ist eine Materialeigenschaft von kristallinen Festkörpern, bei der ein Mineral nach kristallographisch orientierten Ebenen bricht. Die Sp. des Granats ist in der Tat schlecht, jedoch nicht vollkommen abwesend. Auch ein nicht schon im Gestein »schiefriger« Granat könnte durch gezielte mechanische oder thermische Behandlung solch ein flächenhaftes Absondern zeigen. Untersuchungen zur kristallographischen Orientierung der frühmittelalterlichen Granatplättchen deuten darauf hin (Kutke, Barbier & Greiff, 1997), daß die Schnittlage der Plättchen eine Vorzugsrichtung zeigt, die in etwa parallel zur Spaltbarkeit nach dem Rhombendodekaeder liegt. Die an manchen Granaten zu beobachtende »Schiefrigkeit« orientiert sich jedoch im allgemeinen nicht an kristallographischen Kristallebenen (Geophys. Res. Lett. 8, 1981, 883f.). Zu 3.: Die Untersuchung der »d-Werte« an diversen Objekten skandinavischer, ungarischer und fränkischer Provenienz führte zu einer Einteilung in drei durch ein statistisches Unterscheidungsmaß bestätigte Klassen (unabhängig von der archäologischen Zusammengehörigkeit). Diese wurden dann mit den Daten von sechs ceylonesischen und neun böhmischen Granaten verglichen, wobei nicht die Werte an sich, sondern nur deren statistische Verteilungsmaße herangezogen wurden. So fallen zwar beispielsweise die einzelnen Werte der ceylonesischen Referenzgranate in den Wertebereich von Arrhenius' Klasse 1,

Bis zu ihrer Publikation in einer mineralogischen Fachzeitschrift im Jahre 1998 blieben die Arbeiten von Farges (1992) über die Granateinlagen des Gräberfeldes von Louvres (Frankreich) zumindest im deutsch- und englischsprachigen Raum weitgehend unbeachtet. Unter den 118 untersuchten Einlagen aus fünf Gräbern fand er drei chemisch differenzierbare Gruppen, von denen er eine, nämlich Gruppe III mit magnesium- und chromreichen Pyropen, einer böhmischen Lagerstätte zuordnen konnte. Die anderen beiden Gruppen bestanden aus weltweit sehr verbreiteten Granattypen mit Zusammensetzungen, für die Farges aufgrund ihrer Häufigkeit kaum Chancen zur Identifizierung der spezifischen Quelle sieht. Daß die geologisch gesehen selteneren Granate bevorzugt für den Schmuck höherrangiger Personen Verwendung fanden, interpretiert Farges als Hinweis auf die seitens der Franken bewußt hergestellte Korrelation zwischen Seltenheit und Wert eines Steins²⁶.

Erste Vorarbeiten zu der vorliegenden Publikation wurden in Form von Beiträgen zu Fachtagungen publiziert (Greiff 1996 und 1997). Auf der Basis von umfangreichem Referenzmaterial wurde durch semi-quantitative chemische Analysen ein Vergleich zwischen frühmittelalterlichen Granateinlagen aus dem rheinfränkischen Einzugsbereich und den Referenzsteinen aus bekannten Fundlokalitäten angestellt. Die Einlagen ließen sich verschiedenen Gruppierungen zuordnen. Für die von der Probenanzahl her stärkste Gruppe wiesen erste Ergebnisse auf indische Quellen hin.

Das Problem wurde anhand von alamannischem Material von Schüssler et al. (1997) aufgegriffen²⁷, die u. a. der Frage nachgingen, ob die späten Goldschmiedearbeiten des 7. Jhs. mit den typischerweise eher vereinzelt, kleinstückigen Granaten eine den früheren Granateinlagen vergleichbare Zusammensetzung aufweisen. Schüssler et al. machen für die Einlagen des 5. Jahrhunderts, in Bestätigung der vorläufigen Ergebnisse der Autorin, über das rheinfränkische Material auch eine starke Gruppe mit nordindischer Herkunft²⁸ fest; zwei weitere, kleinere Gruppen lassen sich eventuell Südindien und Sri Lanka zuordnen. Die späten Arbeiten des 7. Jhs. sind dagegen mit Granaten deutlich anderer Zusammensetzung bestückt, welche den bekannten böhmischen Pyropen vergleichbar sind, wie bereits Farges (1992 bzw. 1998) andeutete.

Eine kürzlich erschienene Arbeit befaßte sich mit der chemischen Charakterisierung von frühmittelalterlichen Granaten, ohne jedoch eigene Referenzuntersuchungen anzustellen (Brandstätter & Nieder-

die Häufigkeitsverteilung (N=6!) liegt jedoch leicht verschoben und Ceylon wird aus diesem Grund als Liefergebiet ausgeschlossen. Die böhmischen Granate aus dem Kutna-Hora Metamorphkomplex wurden dabei offensichtlich aufgrund der geforderten Spalteigenschaften aus der großen Menge europäischer Granate herausgegriffen und deren publizierte d-Werte mit den d-Werten der Klasse 1 verglichen. Die in Tab. VI (S.31) aufgeführten Granate und deren d-Werte beziehen sich jedoch auf nordböhmische Pyrope, die nichts mit den von B. Arrhenius favorisierten Almandingranaten des südlicher liegenden Kutna-Hora Distriktes zu tun haben. Daß für Granate der Klasse 2 Material aus Niederösterreich Verwendung fand, verdankt man dem Vergleich mit den d-Werten der Granate aus Paviken und der Aussage Löfgrens, daß es sich bei dem Muttergestein um einen Granatamphibolit handeln muß. Auf der Suche nach granatführenden Amphiboliten in Europa fiel die Wahl aus nicht nachvollziehbaren Gründen auf diese niederösterreichischen Vorkommen, deren Steine weder dem Äußeren noch der chemischen Zusammensetzung nach mit den frühmittelalterlichen übereinstimmen. Für die Zuordnung von Klasse 3 zu Herkunftsgebieten im Schwarzmeergebiet schließlich, werden nur noch archäologische Argumente angeführt. Insgesamt läßt sich sagen, daß der methodische Ansatz, d-Werte für Gruppierung und Vergleich heranzuziehen, nicht konsequent genug angewandt und durch die Einbeziehung

wenig fundierter Kriterien anderer Art eine erfolgreiche Interpretation unmöglich gemacht wurde.

²⁶ Es ist unwahrscheinlich, daß die Franken in der Lage waren, die verschiedenen roten Granatspezies zu unterscheiden und deren Wert nach Seltenheit bemaßen. Dies gilt umso mehr als die böhmischen Steine eher zugänglich waren als die exotischen Lagerstätten, aus denen die anderen Granate aller Wahrscheinlichkeit nach importiert wurden (Greiff 1996 u. 1997, Schüssler 1997). Die Verwendung der kleinen, stets rundlichen böhmischen Pyrope für bestimmte Schmuckstücke hat eher technologische Gründe, da sie weniger als flächendeckendes Cloisonné, sondern mehr als vereinzelt Splitter oder abgerundet geschliffene Steine eingesetzt wurden (s.a. Abb. 2b und c aus Farges 1998). Trotzdem ist die Arbeit von Farges der erste gesicherte Nachweis der antiken Verwendung der böhmischen Granate, denn in dem von ihm zitierten Reban (1985) gibt es keine dementsprechenden Angaben und auch andere diesbezügliche Quellen beruhen wohl auf Fehlinterpretationen (s. Anm. 20).

²⁷ Aus dieser Kurzfassung ist nicht erkennbar, ob außer den erwähnten in Nord-Indien verhandelten Steinen noch andere und ggf. welche Granate zur Referenz herangezogen wurden. Eine als Literaturzitat angekündigte ausführliche Fassung steht noch aus.

²⁸ Die Autoren sprechen hier von »in Jaipur/Nordindien verarbeitet«. Die genaue Herkunft bleibt damit unklar.

mayr 1999). Die aus einer Privatsammlung entstammenden Granatobjekte unterschiedlichster regionaler Provenienz wurden mit den Angaben aus Schüssler et al (1997) verglichen.

Der Frage der Herkunft nordischer Granate gingen Mannerstrand und Lundqvist (im Druck) nach. Die von ihnen untersuchten Rohgranate stammen aus verschiedenen Ausgrabungen in Schweden und Dänemark und wurden gezielt nur mit Referenzgranaten aus dem Südwesten und Osten Schwedens verglichen. Dabei konnten Ähnlichkeiten mit Material aus einem Steinbruch bei Slöinge in Halland festgestellt werden (s. a. Anm. 21).

Seit die Untersuchungen zu der vorliegenden Arbeit im Jahre 1994 aufgenommen wurden, sind viele Arbeiten über Granate aus frühmittelalterlichen Goldschmiedearbeiten der unterschiedlichsten archäologischen Provenienz erschienen, die nun durch die vorliegenden Untersuchungen an rheinfränkischen Granaten abgerundet werden.

Mineralogisch-geologische Vorbemerkungen

Grundlage der naturwissenschaftlichen Untersuchungen bildet die chemische Charakterisierung und der darauf aufbauende Vergleich von Granaten aus dem frühen Mittelalter mit Granaten bekannter geographischer Herkunft. Die für solche Interpretationen ausnutzbaren Unterschiede im Chemismus liegen darin begründet, daß Granate, anders als beispielsweise Quarze, eine ganze Familie von Mineralen beinhalten, die sich durch eine Variation in ihren Hauptelementen auszeichnet.

Granate sind Silikate, deren dreidimensionales Grundgerüst aus Silizium und Sauerstoff aufgebaut ist, das durch den Einbau verschiedenster Metallionen wie z.B. Aluminium (Al), Eisen (Fe), Magnesium (Mg), Mangan (Mn) und Calcium (Ca) vervollständigt wird. Diese Variabilität der in das Kristallgitter eingebauten Metallionen erzeugt unterschiedliche Granatspezies, die über eine gemeinsame äußere Kristallform und ähnliche Materialeigenschaften verfügen. Während die Farbtöne und die verschiedenen Dichten zu den auffälligsten Unterscheidungsmerkmalen zählen, variieren Lichtbrechung und Härte in weit engeren Grenzen. Die roten antiken Granate bestehen aus einer Mischung der folgenden Endglieder:

Almandin	$\text{Fe}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4)_3$
Pyrop	$\text{Mg}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4)_3$
Spessartin	$\text{Mn}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4)_3$
Grossular	$\text{Ca}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_4)_3$

In der Natur finden sich praktisch nie die reinen Endglieder, sondern Kombinationen aus verschiedenen Metallionen, sogenannte »Mischkristalle«. Die Benennung erfolgt dann nach dem jeweils überwiegender vorhandenen Metallion.

Welches Metallion in welcher Menge in den Granat eingebaut wird, hängt von den geologischen Vorbedingungen ab, dem das Muttergestein des Granats unterworfen war. Zum einen von den herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen bei der Gebirgsbildung, zum anderen von den im Ursprungsgestein vorhandenen chemischen Komponenten. Kurz gesagt können unterschiedliche geologische Vorkommen Granate unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung hervorbringen – Voraussetzung für die vorliegenden Untersuchungen.

Die mit Abstand wichtigsten granatführenden Gesteine sind Metamorphite wie Gneise, Glimmerschiefer und Amphibolite. Sie entstehen durch die Umkristallisation von Sedimenten und magmatischen Gesteinen, wenn diese bei der Gebirgsbildung in tiefere Bereiche der Erdkruste gelangen und dort hohen Drücken und Temperaturen unterliegen. Viele Granatvorkommen in den Alpen und Skandinavien gehören in diese Rubrik. Auch wenn heißes Magmagesstein mit anderen Gesteinspaketen in Kontakt kommt, können vorhandene Mineralvergesellschaftungen zu Granaten umkristallisiert werden. Metamorphe Granate können sehr groß werden und weisen oft schön ausgebildete Kristallflächen auf. Allerdings sind sie meistens durch Risse und Einschlüsse anderer Minerale getrübt. In sehr tiefen Ge-

steinsschichten, die sich bereits im Bereich des Erdmantels befinden, treten die magnesiumreichen Pyrope auf, die durch tiefgreifende magmatische Prozesse an die Erdoberfläche gelangen können. Prominentestes Beispiel hierfür sind die böhmischen Granatlagerstätten, bei denen jedoch durch die Verwitterung des Ursprungsgesteins eine sekundäre Anreicherung im Sediment stattgefunden hat. Granate sind nämlich äußerst verwitterungsresistent und finden sich in Fluß- und Bachsedimenten lokal angereichert wieder. Gerade die extremen tropischen Verwitterungsbedingungen wie in Indien oder Ceylon bringen solche sekundären Lagerstätten, die »Seifen«, bevorzugt hervor. Es ist kein Zufall, daß gerade dieser Lagerstättentyp die meisten Granate in Edelsteinqualität aufzuweisen hat, weil beim Transport der Minerale rissiges, schlechtes Material bevorzugt zerstört wird.

Vorkommen von im weitesten Sinne roten Granaten gibt es praktisch in jedem Faltengebirge dieser Welt, sieht man einmal von den reinen Kalkgesteinsformationen ab. Im direkten Einflußbereich der fränkischen Völkerschaften gibt es mit Ausnahme der namensgebenden Lokalität für die Mangan-Granate »Spessartine« im Spessart und in den Ardennen keine granatführenden Gesteine und auch die dort gefundene Granatspezies ist von ihrer Natur her nicht mit den frühmittelalterlichen vergleichbar. Weiter entfernt von den fränkischen Machtzentren finden sich beispielsweise am Kaiserstuhl vereinzelt Granate, die ebenfalls weder ihrer Menge noch ihrer Größe nach, aber vor allem nicht von ihrer chemischen Zusammensetzung her, für eine Verwendung im Frühmittelalter in Frage kämen. Anders jedoch Granate aus den bayerischen Mittelgebirgen. Hier gibt es einige granatführende Gesteinsformationen, die theoretisch Rohsteine für die antiken Schmuckgranate hätten liefern können, obwohl bisher kein Material in Edelsteinqualität aus dieser Region bekannt wurde.

Für eine Verwendung als Edelstein kommen nur solche Granate in Frage, die zum einen eine gewisse Größe erreicht haben, arm an Fremdeinschlüssen sind, eine gleichmäßige Farbverteilung aufweisen und nicht zu stark von internen Rissen und Spannungen durchsetzt sind. Prinzipiell gelten alle diese Grundvoraussetzungen sowohl für moderne facettierte Steine, wie für die frühmittelalterlichen Granateinlagen. Allerdings ist für die erfolgreiche Herstellung dünnster Granatplättchen durch Schleifen und Polieren die Reiß- und Spannungsfreiheit besonders wichtig. Auf der anderen Seite bietet die geringe Materialstärke dieser speziellen frühmittelalterlichen Einlagentechnik die Möglichkeit, auch sehr dunkle und getrübe Rohsteine zu verwenden, die für einen dickeren facettierten Stein oder als Cabochon nicht geeignet wären.

Aufgrund der mechanischen Beanspruchung während der Gebirgsbildung sind Granate oft rissig und stark von Fremdeinschlüssen durchsetzt – einzelne Individuen stärker, andere schwächer, so daß innerhalb eines Granatvorkommens eine ganze Bandbreite von Qualitäten vorkommen kann (Beispiel: Zillertal). Bei anderen Typen von Vorkommen finden sich viele klare, dafür aber meist nur winzige Exemplare (Böhmen), während die oben erwähnten »Seifenlagerstätten« durch den vorangegangenen natürlichen Selektionsprozeß einen großen Anteil an guten Qualitäten ausreichender Größe aufweisen (Sri Lanka). Eine weitere Variante ist bei Riesenkristallen zu beobachten, wo gezielt einige klare Partien aus dem ansonsten schlechteren Rohkristall herausgearbeitet werden (Nord-Indien).

Arbeitsansatz und Methodik

Ziel der Untersuchungen war es, einen statistisch relevanten Umfang typisch frühmittelalterlicher Granateinlagen einer Region über deren chemische Zusammensetzung zu charakterisieren und unter Einbeziehung von Granaten bekannter geographischer Provenienz (»Referenzgranate«) die möglichen frühmittelalterlichen Lagerstätten ausfindig zu machen oder zumindest einige der heutigen Vorkommen definitiv auszuschließen. Die Daten wurden nicht nur durch die Messung von Granaten aus der eigens dafür aufgebauten Referenzsammlung gewonnen, sondern auch aus der für diesen Zweck aufgebauten Literaturdatenbank mit chemischen Analysen indischer und lankanischer Granate. Andere physikalische Eigenschaften wie Dichte und Lichtbrechung wurden nur zu Kontrollzwecken bestimmt, da die Auflösung für eine detaillierte Gruppierung nicht fein genug ist und die Bestimmung in der Regel nur

an lose vorliegenden Einlagen vorgenommen werden kann. Auch die ansonsten für die Charakterisierung von Edelsteinen häufig angewandte Methode der Einschlußbeobachtung zeigte nach ersten Voruntersuchungen nur eingeschränkt Erfolg, kann aber in kritischen Einzelfällen als zusätzliches Unterscheidungsmerkmal herangezogen werden.

Auswahl der angewandten Analysemethoden

Von der analytischen Seite war die wichtigste Grundvoraussetzung die Zerstörungsfreiheit der angewandten chemischen Untersuchungsmethodik, sowie die Verfügbarkeit derselben vorort, um einen ausreichend großen Probenumfang bearbeiten zu können. Die hauseigene Röntgenfluoreszenzanlage des Römisch-Germanischen Zentralmuseums erfüllte diese Bedingungen.

Neben der RFA wurde mit dem Rasterelektronenmikroskop jedoch eine zusätzliche Analysenmethode (Energiedispersives Analysensystem am Rasterelektronenmikroskop »EDS«) verwendet, um einige der nachstehend genannten Probleme auszugleichen: Aus meßtechnischen Gründen können mit der hauseigenen Röntgenfluoreszenzanlage nicht alle granatrelevanten chemischen Elemente analysiert werden; das leichte Element Magnesium (Mg) z.B. fehlt zur Anfertigung einer Vollanalyse. Auf Basis der anderen Elemente lassen sich zwar die erzielten Meßdaten für Frühmittelalter- bzw. Referenzgranate direkt vergleichen, eine Gegenüberstellung von Literaturdaten ist damit nur beschränkt möglich. Granateinlagen mit einer gewölbten oder schlecht zugänglichen Oberfläche entzogen sich der Messung mit dieser RFA, am Elektronenmikroskop sind andere Probengeometrien zugänglich. Da diese EDS-Methode jedoch nicht vor Ort zur Verfügung stand, wurde nur eine repräsentative Auswahl an Probenmaterial mit dieser Zusatzmethode analysiert.

Die Beobachtung von festen, flüssigen und gasförmigen Einschlüssen ist ein wichtiger Bestandteil bei der zerstörungsfreien Untersuchung von Edelsteinen hinsichtlich Identifizierung, Echtheit und Herkunft. Diese Methode wurde als Ergänzung zu den chemischen Verfahren in die Untersuchungen mit einbezogen.

Die physikalischen Parameter zu Lichtbrechung und Dichte wurden nicht bestimmt, da die Dichte an gefaßten Steinen überhaupt nicht meßbar ist und die Lichtbrechung eisenreicher Granate den Bereich der üblichen Meßgeräte überschreitet. Zudem ist die Differenzierungsmöglichkeit aufgrund dieser Lichtbrechungsdaten im allgemeinen nicht fein genug, und in der Literatur sind nur in Ausnahmefällen Lichtbrechungswerte angegeben.

Probenmaterial

Die Auswahl des Untersuchungsmaterials bezog maßgeblich rheinfränkische Objekte mit Schwerpunkt Rheinhessen ein, wobei das Verbreitungsgebiet nach Norden hin durch Funde aus Schwarzhof bei Bonn begrenzt wurde (Abb. 1, Tab. 1): Auch wurden einzelne Stücke aus Spanien, Burgund und dem alamannischen Gebiet (Bräunlingen, Schwarzwald, Probennr. Frb 1-3) beprobt, um Hinweise auf mögliche Unterschiede im Vergleich zum rheinfränkischen Material aufzuzeigen. Die 29 Objekte, bei denen es sich hauptsächlich um Gewandfibeln handelt, variieren in ihrer Zeitstellung vom späten 5. bis weit hinein in das 6. Jh. n. Chr. An diesen 29 Stücken wurden insgesamt 104 Granateinlagen einzeln einer Röntgenfluoreszenzanalyse unterzogen, 37 davon zusätzlich mit dem Elektronenmikroskop analysiert.

Um das benötigte Vergleichsmaterial zu beschaffen, ging der eigentlichen Probenbeschaffung eine intensive Literaturstudie der im Frühmittelalter erreichbaren Granatvorkommen voran²⁹. Die Suche be-

²⁹ Der amerikanische und der australische Kontinent wurden dementsprechend bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt, ebenso wie der afrikanische abgesehen von Nordafrika. Ägypten verfügt über Granatvorkommen im Sinai-Gebirge und im Gebiet des Assuan-Staudammes (Lucas

1962). Ob die von Plinius erwähnten Garamanten die *carbunculi* in ihrer Region beschafften oder nur deren Handelswege kontrollierten, muß offen bleiben. Allerdings war es bisher nicht möglich, weder aus dem Atlas-Gebirge noch aus Ägypten authentisches Probenmaterial zu erhalten.

Objekt	Fundort	Inv. Nr.	Kürzel	Datierung
Rheinfränkisches Material (Bestand RGZM)				
Scheibenfibel	Abenheim (Rhein Hessen)	O. 15380	Ab 1	Mitte 6. Jh.
Scheibenfibel	Dalsheim (Rhein Hessen)	O. 15383	Da 1	frühes 6. Jh.
Vogelfibel	Dalsheim (Rhein Hessen)	O. 15375	Da 2	6. Jh.
Vogelfibel	Dalsheim (Rhein Hessen)	O. 15376	Da 3	6. Jh.
Rosettenfibel	Dalsheim (Rhein Hessen)	O. 15369	Da 4	Mitte 6. Jh.
Bügelfibel	Monsheim (Rhein Hessen)	O. 15360	Mon 1	Mitte 6. Jh.
Bügelfibel	Monsheim (Rhein Hessen)	O. 15361	Mon 2	Mitte 6. Jh.
Rosettenfibel	Mörstadt (Rhein Hessen)	O. 15370	Mör 1	Mitte 6. Jh.
Scheibenfibel	Schwarzrheindorf (b. Bonn)	O. 2919	Srd 1	Mitte 6. Jh.
Vogelfibel	Schwarzrheindorf (b. Bonn)	O. 2917	Srd 2	1. Hälfte 6. Jh.
Vogelfibel	Schwarzrheindorf (b. Bonn)	O. 2915	Srd 3	spätes 5. bis Anfang 6. Jh.
Vierpaßfibel	Schwarzrheindorf (b. Bonn)	O. 2921	Srd 4	6. Jh.
Rosettenfibel	Unbekannt	O. 17351	Ub 1	2. Viertel 6. Jh.
Gürtelschnalle	Unbekannt	O. 16992	Ub 2	evtl. Fälschung
Rosettenfibel	unbekannt, vmtl. Deutschland	O. 17352	D 2	6. Jh.
S-Fibel Fragment	unbekannt, vmtl. Deutschland	O. 26161	D 1	6. Jh.
Scheibenfibel	unbekannt, vmtl. Mainz	O. 24813	Mz 1	spätes 5. Jh.
S-Fibel	unbekannt, vmtl. Rhein Hessen	O. 15390	Rh 4	2. Hälfte 6. Jh.
S-Fibel Fragment	unbekannt, vmtl. Rhein Hessen	O. 15384	Rh 1	Mitte 6. Jh.
Scheibenfibel	unbekannt, vmtl. Rhein Hessen	O. 15381	Rh 2	6. Jh.
S-Fibel	vmtl. Mainz	O. 24815	Mz 2	Mitte 6. Jh.
Sonstiges Material (Bestand RGZM)				
Gewandnadel	Burgund	O. 36217	Bu 1	spätes 5. - frühes 6. Jh.
Gürtelschnalle	Spanien	O. 40722	Sp 1	spätes 5. - frühes 6. Jh.
Diverse Objekte in anderen Institutionen				
Anhänger	Bräunlingen (Schwarzwald)	G 15929	Frb 2	spätes 5. Jh.
		LDA Freiburg		
Anhänger	Bräunlingen (Schwarzwald)	G 15404	Frb 1	spätes 5. Jh.
		LDA Freiburg		
Schnalle	Bräunlingen (Schwarzwald)	G 15367	Frb 3	Ende 5. Jh. n. Chr.
		LDA Freiburg		
Rosettenfibel	Torgny, Belgien	86 TO 1146	Tor 1	Mitte 6. Jh. n. Chr.
		Musée Gaumais, Virton		
Pektoral	Wolfsheim, (Rhein Hessen)	Hessisches Landesmus.		Pektoral: ca. 3. Jh.
		Wiesbaden Wolf 1		Grab: 2. Viertel 5. Jh.

Tab. 1 Verzeichnis der für die Untersuchung verwendeten frühmittelalterlichen Objekte.

schränkte sich bewußt nicht auf die wenigen Vorkommen, welche nach unserem heutigen Verständnis als »Edelsteinqualität« eingestuft werden können. Die im frühen Mittelalter übliche Verarbeitung der Granate in Form dünner Plättchen (0,5-1 mm), würde theoretisch auch die Verwendung schlechterer Qualitäten ermöglichen. Lediglich grüne, rein orange oder schwarze Granate wurden bei der Probenbeschaffung außer acht gelassen. Die Farbpalette der beprobten Granate reichte dementsprechend von Rot-, Rosa- und Violetttönen über rotorange, braunrote bis hin zu dunkelbraunen und eher schwärzlichen Steinen.



Abb. 1 Europäische Fundlokalitäten von Referenzgranaten (Punkte) und frühmittelalterlichen Untersuchungsobjekten (Rhomben). Die Numerierung der Granatvorkommen entspricht der Tabellenübersicht (Tab. 2) und den Diagrammen (Abb. 4 bis 9). Numerierung der antiken Funde: 1 Rheinhessen außer Mainz und Wolfsheim, 2 Mainz, 3 Wolfsheim, 4 Schwarzhendorf b. Bonn, 5 Torgny, Belgien, 6 Bräunlingen (Schwarzwald), 7 Burgund.

Nr.	Probe	Vorkommen	Beschreibung	Quelle
BAYERN				
1	Arn 1	Frath/Arnbruck, Bayerischer Wald	sw, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 23990
2	Bay 1	Grube Bayerland/Waldsassen	r/sw, op, sp, R	SFMR
3	Bod 1	Bodenmais, Bayer. Wald	sw/r, op, sp, R	SFMR
4	Stam 1, 2	Stammbach b. Münchberg (Frankenwald)	br, op, sp, R	T. Müller, Marktleuthen
5	Zir 1-16	Zirkenreuth, Lkr. Tirschenreuth (Oberpfälzer Wald)	br, op, sp, R	T. Müller, Marktleuthen
<i>nicht analysiert wegen Größe, Farbe o. Beschaffenheit</i>				
6		Grube Gertrude, Klobenreuth b. Neustadt a. d. Waldnaab		SFMR
7		Fichtelgebirge		SFMR, Inv. Nr. 32102
8		Silberberg, Bodenmais, Bayer. Wald		MSM, Inv. Nr. 3186
ALPEN				
Österreich u. Italien				
9	Pas 1	Königskogl, Moos i. Passeiertal b. Bozen	r/br, tr, sp, P	MSNM
10	Ötz 1-3	Ötztal	r/br, op, sp, P	AMM
10	Ötz 4	Granatenkogel, Ötztal	r/br, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 3245
10	Ötz 5	Granatenwand, Ötztal	r/br, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 9183 m
11	Zil 1	Zillertal	r/br, op, sp, R	AMM
11	Zil 2	Hornkees, Zillertal	r/br, op, k, P	AMM
11	Zil 3	Hornkees, Zillertal	r/br, op, k, R	NMW
11	Zil 4	Stapfenalm, Zillertal (Stilluptal)	r/br, op, k, R	NMW
11	Zil 5	Roßrugg, Zillertal	r/br, tr, sp, R	MSM, Inv. Nr. 3207
11	Zil 6	Stapfenalm, Stilluptal (Zillertal)	r, tr, k, R	MSM, Inv. Nr. 17051
12	Mil 1, 3, 4	Millstätter Alpe, Radentheim, Kärnten	r/br, op, sp, R	NMW
12	Mil 2	Millstätter Alpe, Radentheim, Kärnten	r/br, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 8934
13	Rin 1, 2	Rindemock, Kärnten	sw/br, op, sp, R	NMW
14	Snb 1	Schneeberg, Sterzing, Südtirol	sw, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 3237
Schweiz				
15	Alb 1	Albignagletscher, Graubünden	br, tr, k, R	NMB
16	Pio 1, 2	Val Piora, Tessin	r/br, tr, sp, R	NMB
17	Sim 1-4	Simplonpaß, Monte Leone Decke	r/br, op, sp, R	NMB
18	Tru 1, 2	Piz Trubinasca, Südhang	r/br, tr, sp, R	NMB
19	Zer 1	Pollux, Zermatt	br/r, tr, k, R	NMB
<i>nicht analysiert wegen Größe, Farbe o. Beschaffenheit</i>				
20		Donauschotter, ad H 6563		NMW
21		Crestalunga, Bondasca, Graubünden		NMB
22		Alpe Arami, Tessin		NMB
23		Plano della Mussa, Balme, Val d'Aala		MSNM
24		Bauchette di Bellecombe, Aostatal		MSNM
25		Bellecombe, Chatillon, Aosta		MSNM
26		Ponte delle Capre, Chatillon, Aosta	MSNM	
SÜDEUROPA				
Rumänien				
27	Rum 1, 2	Valea Iedereaua, Preluca Gebirge	sw/br, tr, sp, R	IGRC
28	Rum 3, 4	Valea Vilevi	r, tr, sp, R	IGRC
29	Rum 8, 9	Hunedoara, Sebesch-Gebirge	r, op, sp, R	IGRC
30	Rum 5-7, 10-14	Fogarascher Gebirge, Karpaten	R/br, op, sp, Rr	IGRC
<i>nicht analysiert wegen Größe, Farbe o. Beschaffenheit</i>				
31		Buteasa, Südl. v. Baia Mare. Preluca Geb.		IGRC
32		Razoare, Südl. v. Baia Mare. Preluca Geb.		IGRC, Nr. 7050
33		Veche, Preluca Gebirge		IGRC, Nr. 7121
34		Nedeia Taranului, Rodna Gebirge		IGRC
35		Varful Succi, Rodna Gebirge		IGRC
36		Valea Blaznei, Rodna Gebirge		IGRC
37		Ciclova, bei Oraviza, Banat-Gebirge		IGRC
38		Resita, Ocna de Fier		IGRC
39		Semenik Gebirge, Banat		IGRC
40		Valea Ariesului, Salciua		IGRC
41		Valea Ariesului, Cioara		IGRC
42		Baita Bihor, Napoca b. Nucet, Südl. von Cluj		IGRC
Tschechische Republik				
43	Böh 1-6	Podsedice, N-Böhmen	r, kl, k, R	GRI
44	SBöh 1, 2	Pyrop von Ratbor, Kutna Hora,	r, kl, k, R	Hrabanek, Uni Mainz
45		Hadec, Reg. Kutna Hora, Vzorek Drkr.	r, kl, sp, R	Hrabanek, Uni Mainz
43		N-Böhmen div., auch Podsedice	r, kl, k, R	GRI, NMW, MUH
Spanien				
46	Gra 1-5	Granada, bzw. El Hoyazo, Nijar, Almeria	r, kl, k, P	M. Fecht, RGZM bzw. Dr. Nogues Carulla, Barcelona
Türkei				
47	Tür 1-4	b. Mugla, S-Rand des Menderes-Massivs (Bei Alabanda)	sw/br, op, k, R	Prof. Dürr, Uni Mainz, Prof. Dora, (Türkei)

SKANDINAVIEN u. RUSSLAND

Norwegen				
48	Nor 1	Steli, Tveit, Iveland, Aust-Agder	br, op, sp, R	MGMO
49	Nor 2	Klovstenen, Søndeled, Aust-Agder	r, tr, sp, R	MGMO
50	Nor 3	Holt, Tvedestrand, Aust-Agder	r, tr, sp, R	MGMO
51	Nor 4	Skarbu, Kragerø, Telemark	sw, op, sp, R	MGMO
52	Nor 5	Storvarts, Røros, Sør-Trøndelag	sw/r, op, sp, R	MGMO
53	Nor 7	Hov, Sigdal, Buskerud	r/sw, op, sp, R	MGMO
54	Nor 8	Svartås, Kongsberg, Buskerud	r, tr, k, R	MGMO
55	Nor 9	Valnesfjord, Salten, Nordland	r, tr, sp, R	MGMO
56	Nor 10	Tiltvika, Hamarøy, Nordland	r, tr, k, R	MGMO
57	Nor 11	Hammerfest, Finnmark	r, op, sp, R	MGMO
58	Nor 12	Bodö	r, tr, sp, R	MSM, Inv. Nr. 3287
59	Nor 13	Arendal	sw, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 3288
60	Nor 6	Annerød, Moss, Østfold	sw, op, sp, R	MGMO
<i>nicht analysiert wegen Größe, Farbe o. Beschaffenheit</i>				
61		Birkeland, Iveland, Aust-Agder		MGMO
Schweden				
62	Sve 1	Ängsö, Västerås, Västmanland	r/sw, tr, sp, R	NRS, Nr. 490150
63	Sve 2	Atvidaberg, Östergötland	r/br, tr, sp, R	NRS, Nr. g15277
64	Sve 4	Falun	r/sw, op, sp, R	MSM, Inv. Nr. 3285
<i>nicht analysiert wegen Größe, Farbe o. Beschaffenheit</i>				
65		Säm, Lysekil, Göteborg-Bohus		NRS, Nr. 440008
Russische Republik Karelien				
66	Kar 1, 2	Karelien	r, tr, sp, R	Dr. Ostroumov, Mineraloge, St. Petersburg
67	Kar 3	Kejwy, Karelien	sw/br, op, sp, R	AMM
68	Kit 1-3	Kittälä, b. Impilahti (Impilax) am Ladoga-See, Karelien	r, kl, k, R	Dr. L. Tomanterrä, Nationalmus. Helsinki
69	Weiß 1	Schuerezkoë, Weisseseë (= Weißmeer?)	r, tr, sp, R	AMM
ASIEN				
Afghanistan				
70	Jeg 1, 2, 4	Jegdalek	r/br, tr, sp, P	AMM
China				
71	Chi 1	Xian	r/br, tr, sp, P	M. Fecht, RGZM
Sri Lanka				
72	Cey 1, 3	Sri Lanka	r, kl, k, F	ES
73	Cey 5	Ratnapura, Sri Lanka	r, kl, k, F	LG Prof. Gübelin, Luzern
73	Cey 6-8	Sri Lanka (wahrsch. Ratnapura)	r, kl, k, F	LG Firma Lepold & Schramm, Mainz
73	Cey 9, 10	Ratnapura, Sri Lanka	r, kl, k, P	ES
74	Cey 11-14	S-Küste Sri Lankas zw. Galle u. Tissamaharama	br, tr, k, R	Ankauf über Dr. A Naso, Rom
Thailand				
75	Thai 1	Thailand	r/br, tr, k, R	GRI
Indien				
76	Raj 1-4	Indien (wahrsch. Hyderabad)	r, kl, k, R, P	GRI
77	Raj 5-8	Indien (wahrsch. Rajasthan)	r, kl, k, R, P	GRI
78	Raj 9-12	Indien divers	r, kl, k, F	AMM
77	Raj 13-26, 32-35	Rajasthan, N-Indien	r, kl, k, R, P	GRI
76	Hyd 1-5, Hyd 6-17	Hyderabad, (Bundesstaat Andhra Pradesh)	r, kl, k, R, P	GRI
79	Mad 1-12	Madras, (Bundesstaat Tamil Nadu)	r, kl, k, F	GRI
78	Ind 1	Indien	r, kl, k, F	LG Prof. Gübelin, Luzern
80	Ori 1, 2	Bundesstaat Orissa	r, kl, k, R, P	GRI
81	Oma 1-5	Grenze zw. Orissa/Madhya Pradesh	r, kl, k, R, P	GII
82	Apr 1, 2	Bundesstaat Andhra Pradesh	r, kl, k, R, P	GII

Tab. 2 Auflistung der zur Referenz herangezogenen Granate mit einer Kurzbeschreibung der Proben sowie Angabe der jeweiligen Quelle. Die Numerierung verweist auf die Lage in den entsprechenden Regionalkarten (Abb. 1 und 2), bzw. den Diagrammen (Abb. 4 bis 9).

Bedeutung der Kürzel in der Spalte »Beschreibung«: Farbe (r = rot, rosa, pink; br = braun; sw = schwarz,), Transparenz (kl = klar, tr = durchscheinend, op = opak), Beschaffenheit (k = kompakt; sp = splittrig/rissig, pb = poikiloblastisch, s. u.), Art der Probe (R = Rohstein, F = facettiert, P = Plättchen).

Abkürzungen der unter »Quelle« aufgeführten Institutionen/Firmen etc.: AMM = Ankauf Mineralientage München, ES = private Mineraliensammlung der Autorin, GII = Gemmological Institute of India, Bombay, GRI = Firma Granat Roth, Idar Oberstein, IGRC: Institutul Geologic al Romanei, Cluj - Napoca, LG = Leihgabe, MGMO = Mineralogisk-Geologisk Museum, Universitetet i Oslo, MSM = Mineralogische Staatsammlung München, MSNM = Museo Civico di Storia Naturale, Milano, MUH = Mineralogisches Museum d. Universität Hamburg, NMB = Naturhistorisches Museum Basel, NMW = Naturhistorisches Museum, Wien, NRS = Naturhistoriska Riksmuseet, Stockholm, SFMR = Staatl. Forschungsinstitutf. Angewandte Mineralogie, Universität Regensburg.

Einige Proben wurden nicht analysiert wegen ungeeigneter Probengröße, zu enger Verwachsung mit anderen Mineralien (poikiloblastisches Wachstum), mangelnder Schleifbarkeit durch Risse etc.. Auch bei extrem von den frühmittelalterlich verwendeten Farbtönen abweichenden Proben (z.B. grüne und orange Granate) wurde auf eine Messung verzichtet.

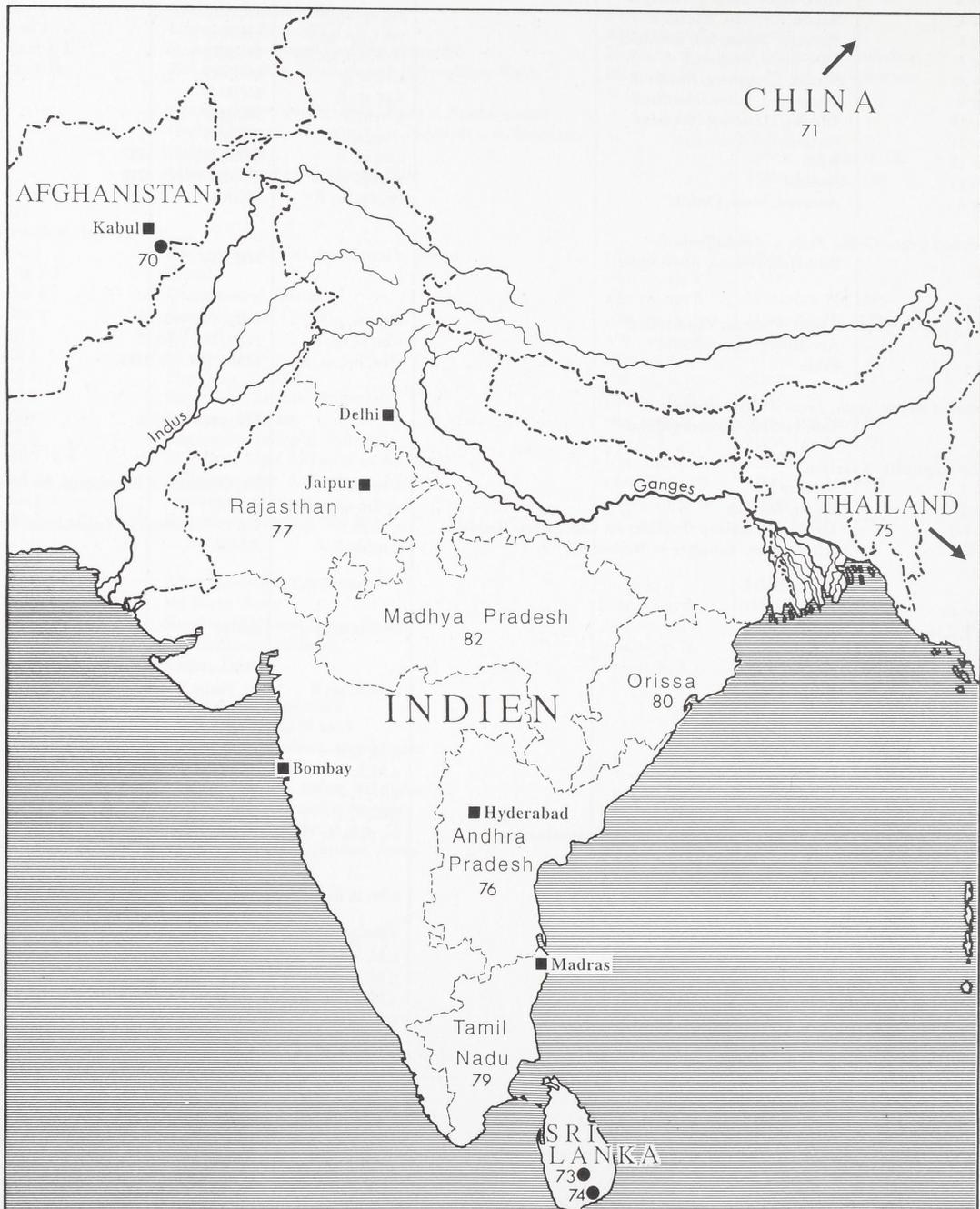


Abb. 2 Fundlokalitäten von Referenzgranaten in Asien, Schwerpunkt Indien. Die Zuordnung der Numerierung entspricht Tab. 2 bzw. den Diagrammen Abb. 4 bis 9.

Das Material wurde über mineralogische Museen, Sammlungen und Landesämter, über den Fachhandel, die einschlägigen Mineralienmessen, aber auch über Privatsammler im In- und Ausland beschafft. Es wurde angestrebt, von jedem Vorkommen mehrere Mineralstücke zu erhalten, wobei es sich hauptsächlich um Rohsteine, nur gelegentlich um facettierte Proben handelte.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen jene Vorkommen, die als »Referenzgranate« mit Probenmaterial vertreten sind. Nicht von allen Proben war es möglich, eine Röntgenfluoreszenzanalyse durchzuführen (zu Be-

schaffenheit und Mindestgröße der Proben s. Anm. 31). Insgesamt wurden aus 80 zur Verfügung stehenden Granatvorkommen 56 chemisch mit Röntgenfluoreszenz (RFA) analysiert, mit einer jeweiligen Anzahl von 1 bis 10 Proben. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, Probenmaterial von jenen Fundpunkten zu erhalten, die in der einschlägigen Literatur, bzw. von den antiken Autoren erwähnt wurden³⁰.

Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Messungen³¹ basieren auf der Bestimmung von Eisen (Fe), Mangan (Mn), Chrom (Cr), Calcium (Ca), Silizium (Si) und Aluminium (Al), deren Gehalte in Form von Impulsanteilen ablesbar sind. Die Ergebnisse sind zur Veranschaulichung in binären Diagrammen aufgetragen. Wegen fehlender Daten für Magnesium mußte auf die übliche Umrechnung der vom Gerät für das jeweilige Element erhaltenen Impulse in Elementoxide verzichtet werden. Stattdessen wurde jedes Element mit seinem jeweiligen Anteil bezogen auf die durch alle sechs Elemente erzielte Impulsgesamtzahl, also in Form von Impulsprozenten dargestellt.

Da Silizium und Aluminium das für alle Granate ähnliche Grundgerüst aufbauen, ist es wenig sinnvoll, diese Elemente zur Gruppierung zusammengehörender, bzw. Differenzierung unterschiedlicher Granate zu verwenden. Chrom liegt bei den Almandin-reichen Granaten fast immer unter der Nachweisgrenze und ist daher nur für die Abgrenzung Cr-reicher Granate verwendbar, die sich in aller Regel dann aber auch durch ihre Gehalte an Eisen, Mangan oder Calcium unterscheiden. Somit bilden für die vorliegende Arbeit die Eisen-, Mangan- und Calciumgehalte die Basis für eine chemische Charakterisierung von Frühmittelalter-Granaten und Referenzsteinen.

Die frühmittelalterlichen Granateinlagen

104 Granatplättchen aus 29 frühmittelalterlichen Granatobjekten wurden im Hinblick auf die oben genannten Elemente untersucht. Die Eisenwerte liegen zwischen 88,9 Impuls-% für einen Stein aus dem

³⁰ Diese semiquantitativen Vollanalysen lassen sich nicht mit publizierten Vollanalysen direkt vergleichen. Die Sammlung von Vollanalysen von Granaten aus Indien und Sri Lanka kann daher nicht für die Gegenüberstellung mit den RFA-Analysen herangezogen werden.

³¹ Bei der Anlage im Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz handelt es sich um einen Spezialumbau der wellenlängendispersiv arbeitenden SRS 200 der Firma Siemens. Anders als bei den meisten RFA-Anlagen lassen sich große Objekte ohne Probennahme direkt untersuchen. Die an den Granaten analysierten Elemente umfaßten Eisen, Mangan, Chrom, Calcium, Silizium und Aluminium. Granate sind strahlungsstabil gegenüber Röntgenstrahlen und verfärben sich durch die Analysen nicht. Der bestrahlte Probenbereich wird durch die runde, 0,5 cm weite Apertur des Probenhalters aus hochreinem Titan vorgegeben. Eine glatte Auflagefläche wird benötigt, obwohl die Effekte durch Unebenheiten gering sind, wie Tests an Standard-Gläsern der Firma Corning zeigten. Da die frühmittelalterlichen Einlagen bereits als flache, gut polierte Plättchen vorliegen, konnten diese ohne weitere Behandlung gemessen werden. Die Referenzgranate wurden angesägt und / oder angeschliffen, um eine entsprechende Oberfläche zu erhalten (Diamantscheibe mit anschließender Politur auf Kupferscheiben mit Diamantpulver). Besonders brüchige Proben entzogen sich auf diese Weise einer erfolg-

reichen Präparation, ebenso solche, bei denen sich der Granat nicht vom umgebenden Gestein sauber trennen ließ.

Meßbedingungen: Wolframröhre betrieben mit 32 mA, 48 kV. Evakuierte Probenkammer. Für Fe, Mn, Cr: Analysator LiF, 0,15 Sollerspalt, Kanaleinstellung differential bei 1,95V Basis und 4V Kanalbreite. Zählzeit 20 sec, Durchflußzähler u. Szintillationszähler im Tandembetrieb. Zählrohrgas Argon/Methan. Für Ca, Si, Al: Analysator PET, 0,4 Sollerspalt, Kanaleinstellung differential bei 2,2 V Basis und 4 V Kanalbreite, Zählzeit 80 sec, Durchflußzählrohr mit Argon / Methan.

Es wurde eichprobenfrei gemessen, wobei die Driftstabilität mit Standards aus Stahl und einem Corning-Glas kontrolliert und zusätzlich eine Überprüfung der Null-Geräteimpulse für jedes Element durchgeführt wurde. Die Meßergebnisse erscheinen in Impulsen, die wiederum in Impulsprozenten umgerechnet wurden. Alle Einlagen wurden im zeitlichen Abstand mehrmals untersucht.

Die Granateinlagen der frühmittelalterlichen Objekte wurden anhand von Schwarzweißabbildungen einzeln durchnummeriert, beginnend mit einer Buchstabenkombination für den Fundort, einer Nummer der Fibel und einer Nummer für jeden Stein (Tab. 1). Ähnlich wurde mit den Referenzgranaten verfahren, die ebenfalls mit einer vom Fundort abhängigen Buchstabenkombination und einer Zahl bedacht wurden.

Wolfsheimer Pektoral und 99 Impuls-% für einen Stein aus einer Fibel von Monsheim. Der Wolfsheimer Stein hat außerdem mit 5,79 Impuls-% den höchsten Calciumwert, das Minimum liegt bei 0,04 Impuls-%. Die Manganwerte liegen zwischen 0,02 und 7,59 Impuls-%.

In beiden zur Charakterisierung herangezogenen binären Diagrammen Fe: Ca (Abb. 3a) und Fe: Mn (Abb. 3b) ist eine auffällige Konzentration von 58 Datenpunkten oberhalb von etwa 97,4 Impuls-% Eisen mit gleichzeitig niedrigen Calcium- und Manganwerten (jew. kleiner 1 Impuls-%) zu beobachten. In dieser Hauptgruppe »H« befinden sich ausnahmslos rheinfränkische Fibeln, inklusive einer burgundischen Nadel und den Einlagen der Fibel aus dem belgischen Torgny.

Die restlichen 44 Datenpunkte streuen in beiden Diagrammen weiter und lassen sich grob in drei weitere Gruppen aufteilen (S1 bis S3). Hier kommen sämtliche Datenpunkte von nicht-rheinfränkischem Material zu liegen, nämlich drei alamannische Einlagen (Frb 1-3), die große zentrale Granateinlage einer spanischen Gürtelschnalle (Sp1) und die vier untersuchten Steine des Wolfsheimer Pectorals, das sassanidischen Ursprungs ist. Die beiden letzteren Objekte bilden mit ihren Steinen die Gruppe S2. Die alamannischen Einlagen definieren zusammen mit 28 rheinfränkischen Steinen die Gruppe S1. Die Gruppe S3 wird durch relativ geringe Eisen- bei zugleich niedrigen Calciumgehalten charakterisiert, wobei vier der sieben Steine einer einzelnen Fibel aus Rheinhessen (Rh 2) angehören. Die Herausbildung der Gruppen sowie die Zugehörigkeit eines Steines zu einer der Gruppen bleibt in beiden Systemen, Fe: Ca und Fe: Mn, erhalten. Lediglich ein im Mangan-Diagramm bei ca. 2,5 Impuls-% Mn eng zusammenliegendes Grüppchen von vier Steinen findet sich im Calcium-System nicht als eigenständige Gruppe geschlossen wieder.

Der in Abb. 3a und b eingezeichnete Linienverlauf soll lediglich die Gruppierung verdeutlichen und nicht die exakten Grenzen der jeweiligen Gruppe wiedergeben.

Neben der Beobachtung, daß das sassanidische und spanische Material sich deutlich im Chemismus von den mitteleuropäischen Steinen abhebt und die alamannischen Datenpunkte nicht in dem rheinfränkischen Hauptfeld H zu finden sind, gibt es keine eindeutigen Trends, was zum Beispiel die Zeitstellung der Fibeln angeht. Fibeln des späten 5. Jhs. zeigen keine Bevorzugung einer bestimmten Gruppe, ebenso wenig wie Datenpunkte von Fibeln aus dem frühen, mittleren oder späten 6. Jh. Auch können Fibeln aus Steinen verschiedenster Gruppen zusammengesetzt sein. Eine Ausnahme bildet dabei die bereits angesprochene Fibel Rh 2, deren sieben Steine nur in S1 und S2 zu finden sind. Einen interessanten Aspekt bietet die Einlage Ub 2/1, die aus einer Gürtelschnalle unbekannter Herkunft stammt und bei der es sich vermutlich um eine Fälschung handelt. Bei beiden Diagrammen liegt der Datenpunkt in Gruppe S3 ganz am Rand des Feldes.

Die Referenzgranate

Für die Untersuchungen standen Granate aus ca. 80 Fundpunkten der »alten Welt« zur Verfügung. Die geographische Lage ist auf den Abbildungen 1 und 2 zu ersehen. Insgesamt konnten 173 einzelne Granatproben aus 56 dieser Vorkommen für die Analysen präpariert und gemessen werden (Tab. 2). Die Ergebnisse sind graphisch in den Abbildungen 4 bis 8 erfaßt, wobei analog zu den Granateinlagen die beiden Systeme Eisen: Calcium und Eisen: Mangan ausgewählt wurden. Die chemischen Daten sind der Übersicht halber in fünf nach geographischen Großregionen (Alpen + Bayern, Skandinavien, Süd-Europa, Asien und Indien) gegliederte Varianten aufgeteilt, in denen zusätzlich der durch die Granateinlagen definierte Bereich (88-100 Impuls-% Eisen, 0-7 Impuls-% Calcium) eingerahmt ist. Da einige Referenzgranate recht weit von diesem »Frühmittelalterfeld« entfernt liegen und dieses dadurch graphisch auf einen winzigen Bereich eingengt wird, gibt es außer diesem Übersichtsdiagramm mit allen Referenzgranaten der jeweiligen Region einen zusätzlichen Ausschnitt für den detaillierten Vergleich zwischen Referenzgranaten und frühmittelalterlichen Einlagen. Daraus resultieren insgesamt neun Diagramme, die im folgenden diskutiert werden sollen. Die entsprechenden neun Diagramme des Systems Eisen: Mangan bieten die gleichen Informationen und sind aus Platzgründen hier nicht abgebildet.

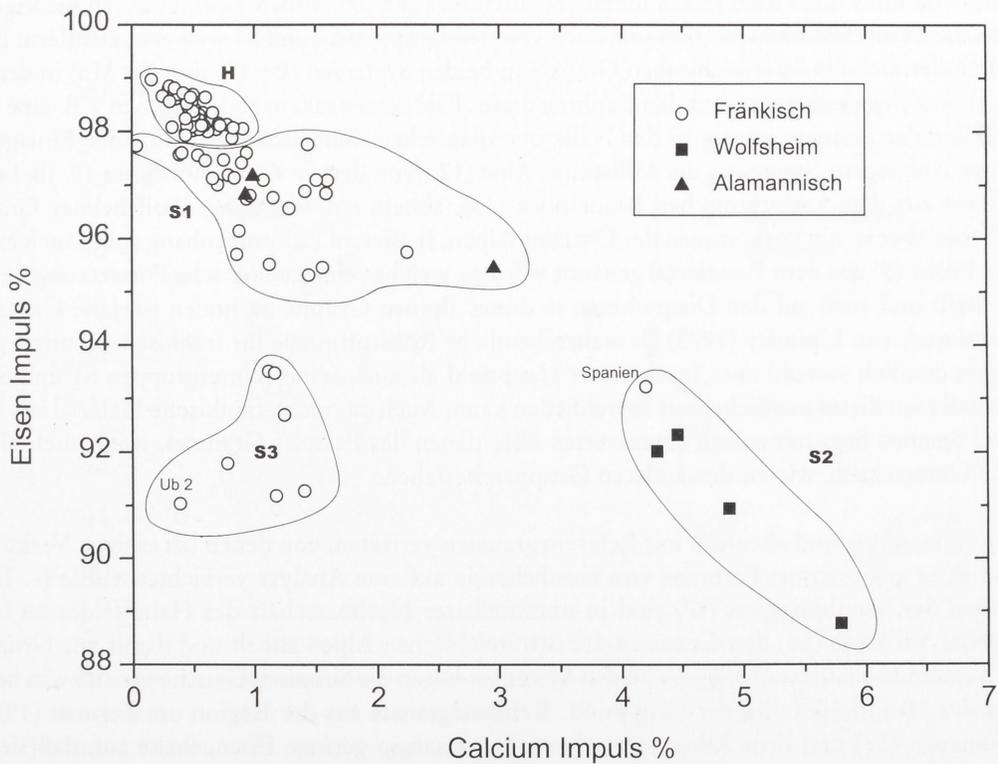
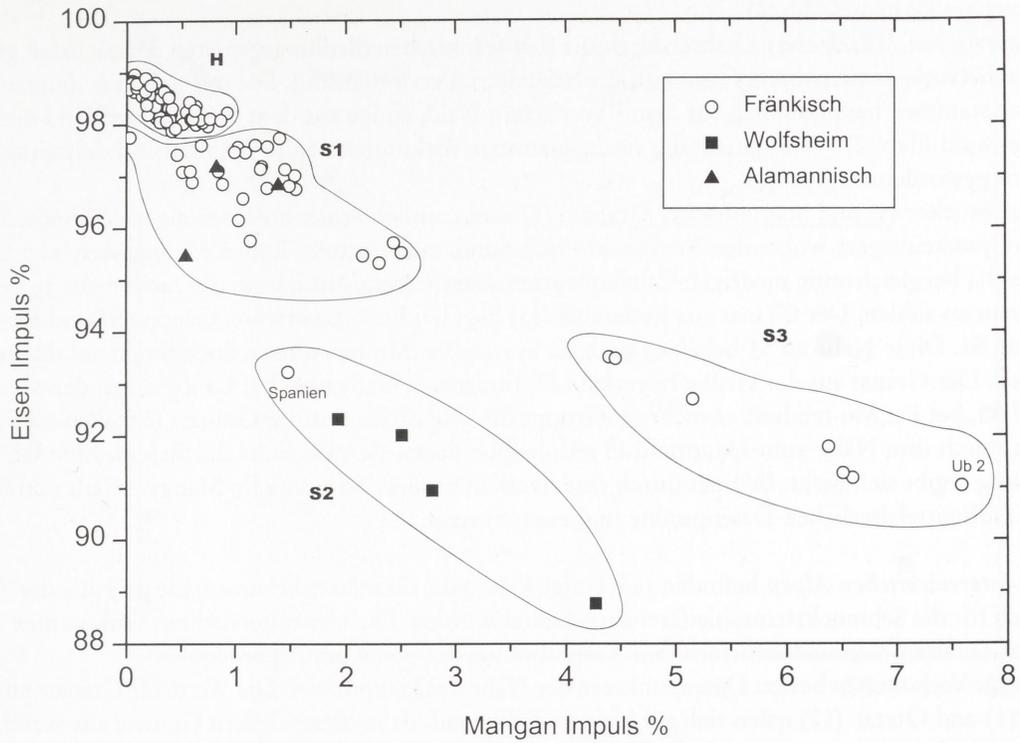


Abb. 3 a. b: Ergebnisse der semiquantitativen Röntgenfluoreszenzanalyse der frühmittelalterlichen Einlagen. Es ergibt sich durch die Gehalte an Eisen, Calcium und Mangan ein Muster aus vier Gruppen. Die meisten Proben finden sich auf einem engen Bereich als Hauptgruppe H konzentriert. Eine weitere Gruppe S1 streut über einen größeren Bereich. S2 wird aus einer spanischen Gürtelschnalle und den Einlagen des Wolfsheimer Pectorals gebildet. In S3 befindet sich eine Einlage (Ub 2/1), die aus einem vermutlich gefälschten Objekt stammt. Die Linien geben nur den ungefähren Verlauf der Gruppierung und nicht deren exakte Begrenzung an.

– Bayern und Alpen (Abb. 4)

Die *bayerischen Mittelgebirge* beherbergen die den fränkischen Siedlungsgebieten am nächsten gelegenen Granatvorkommen, die in Form von Probenmaterial vertreten sind. Die mit der RFA untersuchten Granate stammen hauptsächlich aus dem Bayerischen Wald, einige aus dem Oberpfälzer Wald und dem Frankenwald (Tab. 2). Von keinem der nachgenannten Vorkommen ist je Material in Edelsteinqualität bekannt geworden.

Die Arnbrucker (1) und Stambacher Granate (4) sind deutlich ärmer an Eisen als die frühmittelalterlichen Granateinlagen, wobei der Arnbrucker sich durch einen extrem hohen Manganwert von fast 24 Impuls-%, bei gleichzeitig niedrigen Calciumwerten auszeichnet. Damit ist dieser nicht mehr zu den Almandinen zu zählen. Der Granat aus Bodenmais (3) liegt bei Fe: Ca zwischen Gruppe S1 und S2, etwas näher an S1. Diese Nähe zu S1 behält er auch im System Fe: Mn bei, ohne jedoch direkt auf dieses Feld zu fallen. Der Granat aus der Grube Bayerland (2) findet sich im System Fe: Ca zwischen den Gruppen S2 und S3, bei Fe: Mn tendiert er mehr zu Gruppe S3. Die Zirkenreuther Granate (5) fallen im System Fe: Ca durch ihre Nähe zum Hauptfeld H auf, jedoch liegen sie stets links des Feldes. Eine Übereinstimmung ergibt sich nicht. Bedingt durch eine deutlich größere Streuung im Mangangehalt umrahmen sie die frühmittelalterlichen Datenpunkte in diesem System.

In den *österreichischen Alpen* befinden sich einige klassische Granatvorkommen, die im Falle des Zillertals auch für die Schmucksteinschleiferei ausgebeutet wurden. Die hier untersuchten Vorkommen stammen aus Gneisen, Glimmerschiefern und Amphiboliten der gesamten Alpenregion³².

Keines der Vorkommen besitzt Datenpunkte in der Nähe des Hauptfeldes. Die Werte für Granate aus Zillertal (11) und Ötztal (12) teilen sich auf kleinere Felder auf, da in diesen Tälern Granate aus verschiedenen Gesteinsformationen zusammentreffen. Trotz dieser Unterschiede bilden sie ein locker zusammenhängendes von links oben nach rechts unten verlaufendes Feld, das jedoch, bedingt durch niedrigere Eisenwerte, das Hauptfeld nicht tangiert und auch von den Gruppen S1 und S3 weit genug entfernt liegt.

Dafür befinden sich die österreichischen Granate in beiden Systemen (Fe: Ca und Fe: Mn) in der Nähe von S2, ohne sich jedoch genau mit den Punkten dieses Feldes zu decken. So findet man z.B. eine Gruppe der Zillertaler Granate immer in der Nähe der spanischen Gürtelschnalle und einer Einlage eines Freiburger Anhängers. Steine aus der Millstätter Alpe (12) (von der ein Granatabbau im 19. Jh. bekannt ist³³), sowie aus dem karinthischen Rindemock (13), ähneln ein wenig den Wolfsheimer Granaten. Dies gilt aber ebenso für Vorkommen der Ötztaler Alpen. In diesem Zusammenhang sollte auch eine italienische Probe (9) aus dem Passeiertal genannt werden, welches eine geologische Fortsetzung des Ötztals darstellt und auch auf den Diagrammen in dieser alpinen Gruppe zu finden ist. Jene Granate aus dem Passeiertal, von Lipinsky (1975) als wahrscheinliche Rohstoffquelle für fränkische Granate gehandelt, liegen deutlich sowohl vom fränkischen Hauptfeld als auch seiner Untergruppen S1 und S3 entfernt, so daß man dieses mit Sicherheit ausschließen kann. Auch das nicht-fränkische Material aus Wolfsheim und Spanien liegt mit seinen Eisenwerten über denen des Passeier Granates, wenn auch nicht so deutliche Unterschiede wie zu den anderen Gruppen bestehen.

Die *Schweizer Alpen* sind ebenfalls mit Referenzgranaten vertreten, von denen bei einigen Vorkommen aufgrund ihres gelbbraunen Farbtons von vornherein auf eine Analyse verzichtet wurde (s. Tab. 2). Die Proben der Simplonregion (17) sind in unmittelbarer Nachbarschaft des Hauptfeldes zu finden, während das Val Piora (16) den Granaten der österreichischen Alpen ähnelt und damit zur Gruppe S2 gewisse Verwandtschaften aufzeigt. In beiden Systemen liegen die Simplon-Granate genau zwischen den Einlagen des Hauptfeldes und der Gruppe S1. Referenzgranate aus der Region um Zermatt (19), dem Piz Trubinasca (18) und dem Albignagletscher (15) weisen so geringe Eisengehalte auf, daß sie nicht

³² Die von B. Arrhenius (1985) erwähnten Granate aus »Kottes« (wahrsch. Kottes), Rosenburg, und der Korralpe gehören nicht zu den Almandinen und wurden hier von

vorneherein bei der Probenbeschaffung außer acht gelassen.
³³ S. Gramaccioli, C.M. (1978): Die Mineralien der Alpen. Teil 2 (Stuttgart) 471.

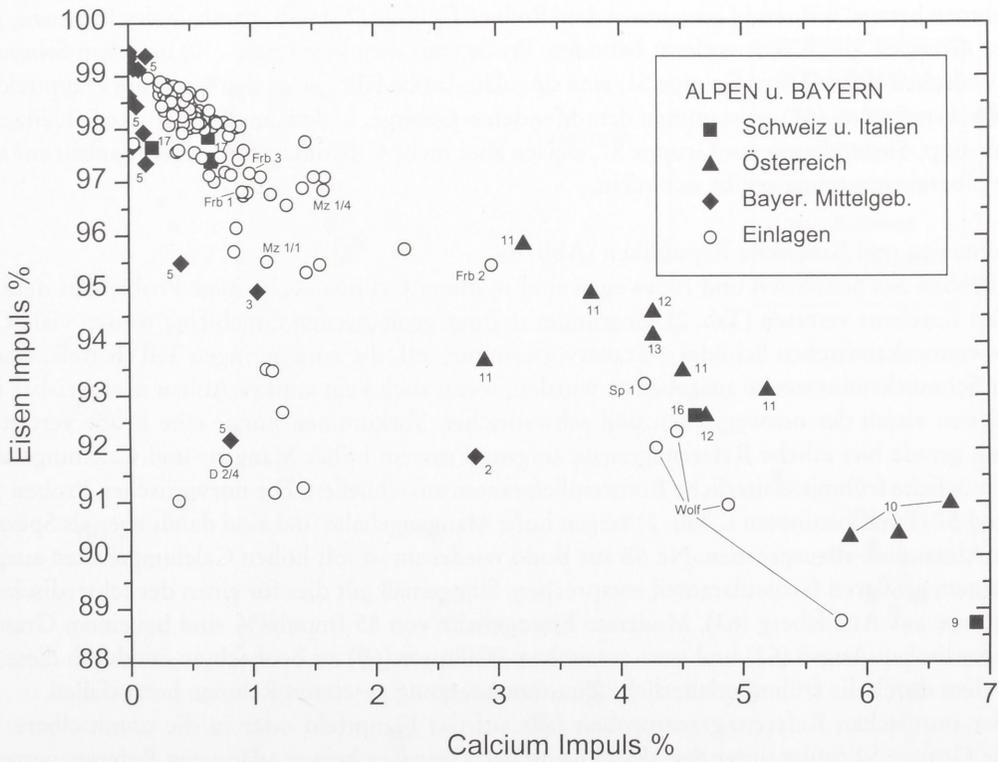
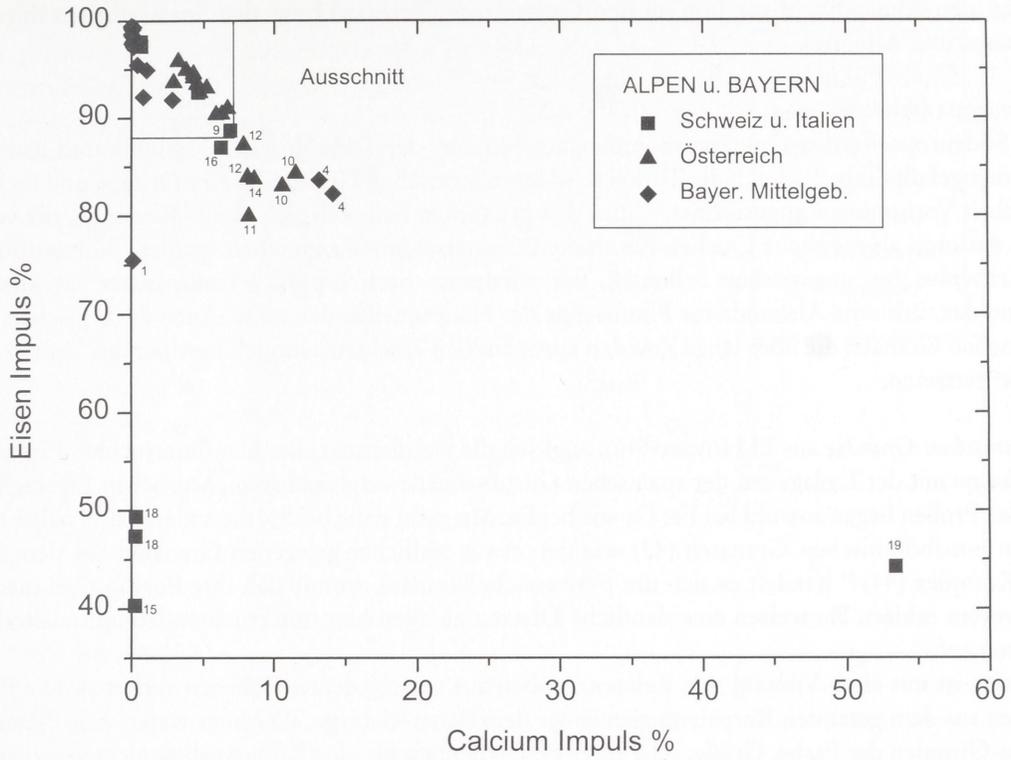


Abb. 4 a. b: Röntgenfluoreszenzdaten des Systems Eisen: Calcium für Referenzgranate aus den bayerischen Mittelgebirgen und den Alpen. Abb. 4 b zeigt den Wertebereich im Ausschnitt, der dem Datenbereich für die frühmittelalterlichen Einlagen entspricht. Weitere Erläuterungen s. Text (die Numerierung in den Abb. 4-8 entspricht Tab. 2 und Abb. 1).

mehr zu den Almandinen, sondern zu den Grossularen (Zermatt) bzw. den Spessartinen zählen (Piz Trubinasca und Albigna).

– Südeuropa (Abb. 5)

Unter Südeuropa werden Granatvorkommen aus Spanien, der Tschechischen Republik und Rumänien zusammengefaßt (Tab. 2). Auch die Türkei wird aus historischen Gründen dieser Gruppe und nicht den asiatischen Vorkommen zugerechnet. Unter den genannten befinden sich einige Regionen, die von diversen Autoren als mögliche Quellen für antiken Granatschmuck angesehen wurden: Südwestböhmen von Arrhenius für ungarischen Schmuck, der wiederum nach Lipinsky rumänischer Herkunft ist, während das türkische Alabanda für Plinius eine der Hauptquellen darstellte. Auch die typischen nordböhmischen Granate, die über lange Zeit den europäischen Trachtenschmuck bestimmten, sind in dieser Gruppe vertreten.

Die *spanischen Granate* aus El Hoyazo (46), zugleich die westlichsten aller hier untersuchten Proben, besitzen keine mit der Einlage auf der spanischen Gürtelschnalle vergleichbaren chemischen Eigenschaften. Zwei der Proben liegen sowohl bei Fe: Ca wie bei Fe: Mn recht nahe bei S3, die anderen drei näher bei S1. Bei den nordböhmischen Granaten (43) wie den etwas südlicher gelegenen Granaten aus dem Kutna Hora Komplex (44)³⁴ handelt es sich um pyropreiche Granate, womit sich ihre Position bei niedrigen Eisenwerten erklärt. Sie weisen eine deutliche Distanz zu allen hier untersuchten frühmittelalterlichen Granaten auf.

Rumänien ist mit einer Vielzahl von Referenzproben aus verschiedenen Gebieten vertreten. Die Proben stammen aus dem gesamten Karpatenbogen sowie dem Banat-Gebirge; allerdings waren viele dieser Granate aus Gründen der Farbe, Größe, oder ihrer Beschaffenheit für eine RFA-Analyse nicht geeignet (Tab. 2). Proben aus dem Valea Vilevi (28) fallen durch hohe Manganwerte aus dem für die Einlagen maßgeblichen Rahmen heraus, während Granate aus dem Preluca Gebirge (27) sich innerhalb des Rahmens, jedoch von allen Gruppen gleich weit entfernt befinden. Proben aus dem Fogarasch (30) und dem Sebesch-Gebirge (29) decken sich z.T. mit Gruppe S1, eine singuläre Probe fällt gar an den Rand des Hauptfeldes. Die *türkischen Proben* (47) entstammen dem Menderes-Gebirge, in dem auch das antike Schleifzentrum Alabanda liegt. Sie tendieren zur Gruppe S1, weisen aber mehr Calcium und weniger Mangan auf als diese. Eine Übereinstimmung ergibt sich nicht.

– Skandinavien und Russische Republiken (Abb. 6)

Neben Proben aus Schweden und Norwegen sind in dieser Gruppe auch einige Proben aus dem russischen Teil Kareliens vertreten (Tab. 2). Begründet in ihrer geologischen Geschichte weisen viele Gesteine des »svennoskandischen Schildes« Granatvorkommen auf, die zum geringen Teil (Kittelä, Karelien) auch für Schmucksteinzwecke ausgebeutet wurden, wenn auch kein antiker Abbau nachweisbar ist³⁵. Obwohl von vielen der norwegischen und schwedischen Vorkommen nur je eine Probe vertreten ist, kann man gerade hier etliche Referenzgranate aufgrund extrem hoher Mangan- und Calciumgehalte sicher als mögliche frühmittelalterliche Rohsteinlieferanten ausschließen. Die norwegischen Proben 48, 51, 52, 60 und 57 (Fundlokalitäten s. Tab. 2) zeigen hohe Mangangehalte und sind damit eher als Spessartine denn als Almandine anzusprechen. Nr. 58 aus Bodö wiederum ist mit hohen Calciumgehalten ausgestattet, die einem größeren Grossularanteil entsprechen. Sinngemäß gilt dies für einen der schwedischen Referenzgranate aus Atvidaberg (63). Moderate Eisengehalte von 85 Impuls-% sind bei einem Granat aus dem schwedischen Angsö (62) und vom russischen Weißmeer (69) zu beobachten, wodurch diese ebenfalls aus dem durch die frühmittelalterliche Zusammensetzung gesetzten Rahmen herausfallen. Keine der nordischen Referenzgranatproben fällt auf das Hauptfeld oder in die unmittelbare Nähe. Auch die Gruppe S2 findet unter den skandinavischen Granaten keinen adäquaten Referenzpartner.

³⁴ Die für die vorliegende Arbeit untersuchten Granate aus dem Kutna Hora-Komplex entsprechen nicht den von

Arrhenius (1985, 31) untersuchten Granaten aus Zbyslav. ³⁵ Lena Tormanterä, Helsinki, persönl. Mittlg.

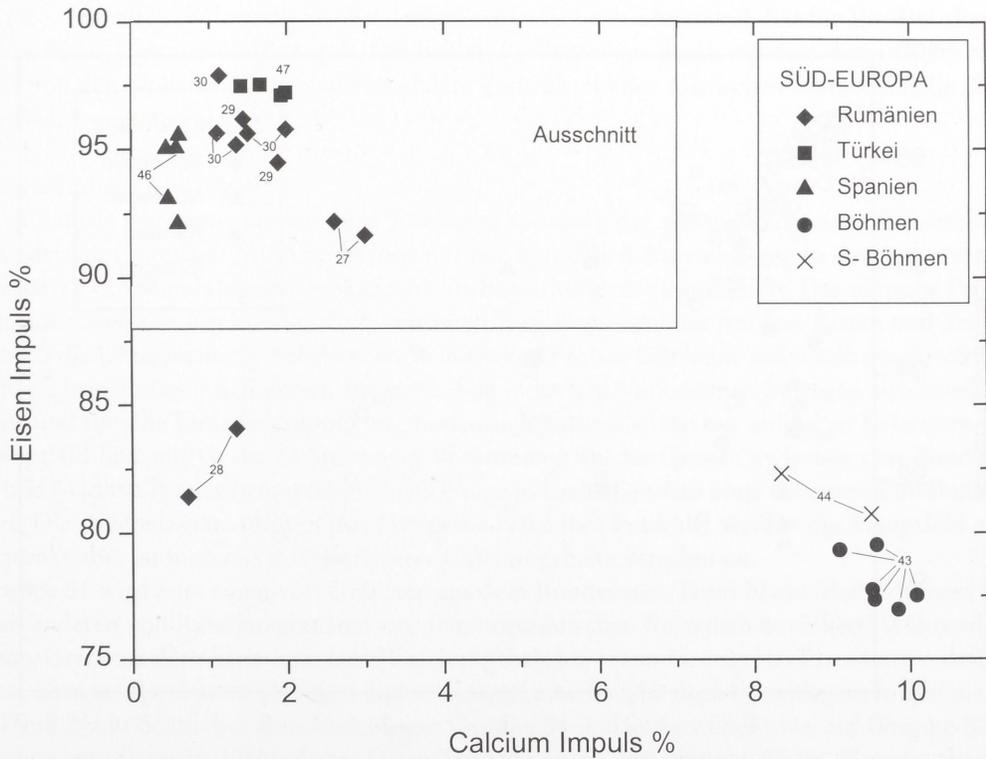
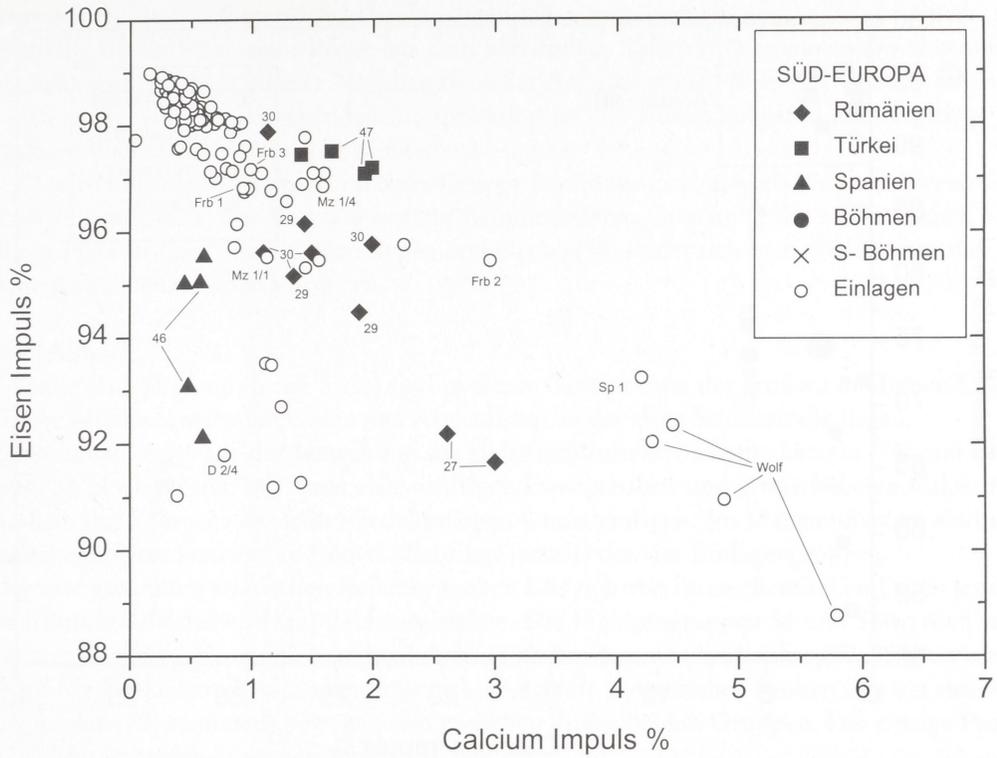


Abb. 5 a, b: Röntgenfluoreszenzdaten des Systems Eisen: Calcium für Referenzgranate aus Südeuropa. Abb. 5 b zeigt den Wertebereich im Ausschnitt, der den Daten für die frühmittelalterlichen Einlagen entspricht. Weitere Erläuterungen s. Text (Numerierung entspricht Tab. 2 und Abb. 1).

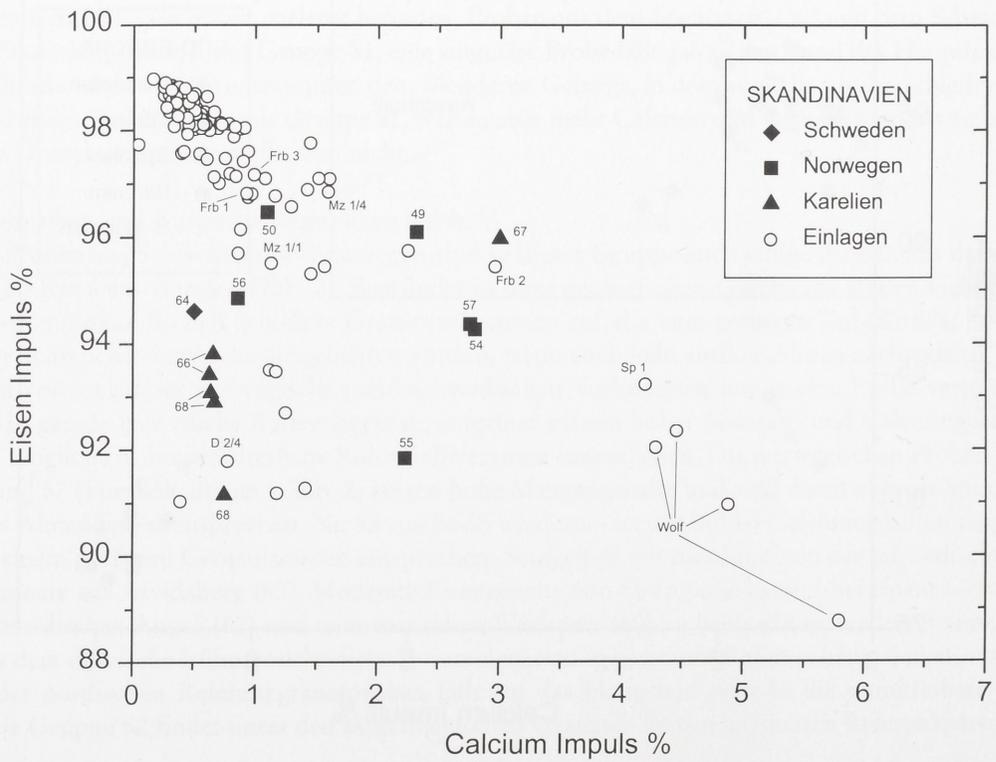
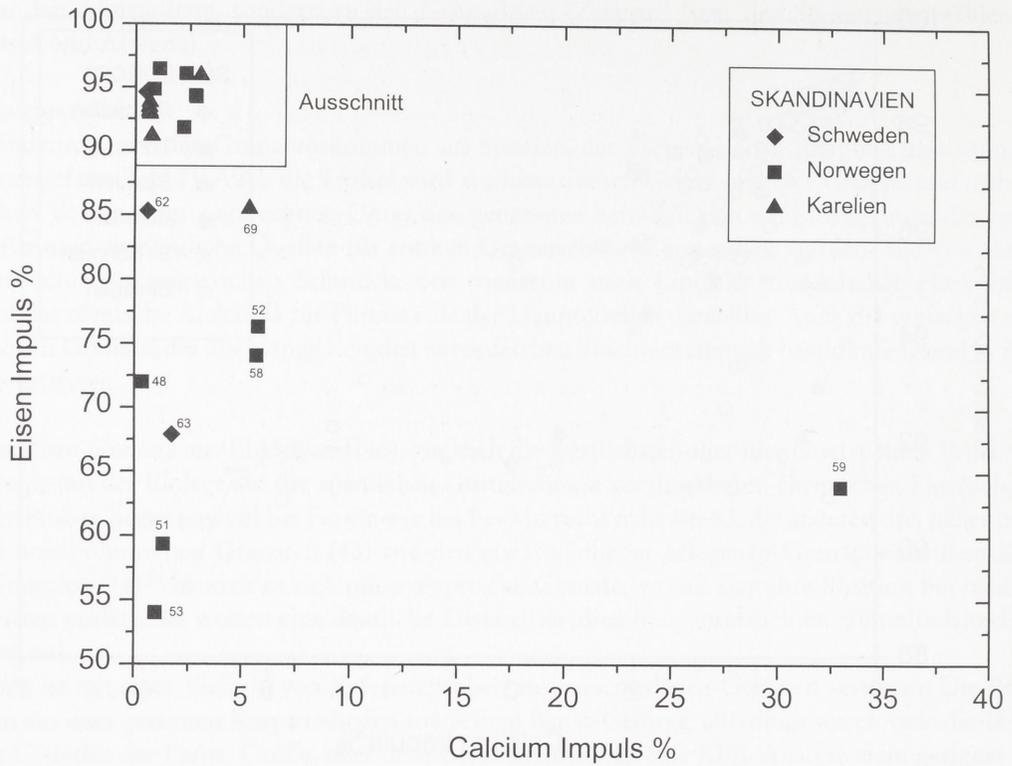


Abb. 6 a. b: Röntgenfluoreszenzdaten des Systems Eisen: Calcium für Referenzgranate aus Skandinavien. Abb. 6 b zeigt den Wertebereich im Ausschnitt, der den Daten für die frühmittelalterlichen Einlagen entspricht.

Auf Gruppe S1 gelegen befindet sich in beiden chemischen Systemen ein norwegischer Granat (50) aus Holt. Auffällig ist die Nähe einer Probe aus dem karelischen Kejwy (67) zu einem der alamannischen Gehänge, während in unmittelbarer Nachbarschaft der Referenzgranat 49 einer rheinhessischen Fibel einlage gleicht. Bei einer weitergehenden Interpretation ist hier jedoch aufgrund des Vergleichs mit einer einzelnen Referenzprobe Vorsicht geboten.

Gruppe S3 wird in beiden Systemen von einer Gruppe karelischer Steine begleitet, die teilweise (im Falle der Proben aus Kittelä) aus einer Lagerstätte stammen, deren Granate in der schwedischen Krönungskrone ihren Platz fanden³⁶. Auch eine norwegische Probe (54) findet sich hier wieder, ohne daß jedoch akzeptable Koinzidenzen ablesbar wären.

– Asien I (Abb. 7)

Mit Sri Lanka und Thailand (heute Siam) sind in dieser Gruppe zwei der größten modernen Edelsteinförderländer vertreten, während China und Afghanistan an der alten Seidenstraße liegen.

Zwei Vorkommen, eines aus der Umgebung des südsrilankanischen Tissamaharama (74) und eines aus Thailand (75), bewegen sich mit ihren eher niedrigen Eisengehalten und etwas höheren Calciumgehalten außerhalb des Rahmens der frühmittelalterlichen Graniteinlagen. Im Mangan-System sind sie teilweise innerhalb dieses Fensters zu finden, allerdings jenseits der vier Einlagengruppen.

Keine der hier genannten asiatischen Referenzproben läßt sich von ihren chemischen Daten annähernd mit dem frühmittelalterlichen Hauptfeld vergleichen. Die Einlagengruppen S1 und S3 werden randlich von Granaten begleitet, die aus nicht näher lokalisierten Vorkommen Sri Lankas (72, 73) stammen, eine brauchbare Ähnlichkeit ergibt sich allerdings nicht. Auch die afghanischen Proben (die aus einem einzigen Vorkommen (70) stammen) bewegen sich zwischen diesen beiden Gruppen. Die einzige Probe aus China (71) liegt in beiden Systemen jenseits S1.

Eine sehr gute Übereinstimmung ist dafür zwischen der Gruppe S2 und zwei Referenzgranaten aus Ratnapura (73), dem alten ceylonesischen Edelsteindistrikt zu beobachten und dies für alle drei chemischen Parameter Eisen, Calcium und Mangan. Die beiden Proben liegen genau auf dem diagonal verlaufenden Feld, das von den Wolfsheimer Einlagen und dem Zentralstein der spanischen Gürtelschnalle (Sp1) aufgespannt wird.

– Asien II: Indien (Abb. 8)

Indien ist damals wie heute ein wichtiger Edelsteinexporteur, der wie viele tropische Gebiete den Vorteil von edelsteinführenden Muttergesteinen mit der nützlichen Anreicherung in den sogenannten Seifenlagerstätten (s. »Mineralogisch-geologische Vorbemerkungen«) kombiniert. Das indische Probenmaterial ist durchweg von Edelsteinqualität, mit intensiven Rottönen und frei von Rissen und Trübungen. Von den für die Untersuchung vorliegenden 56 indischen Proben fällt keine außerhalb des durch die frühmittelalterlichen Einlagen definierten Fensters. Alle indischen Vorkommen bewegen sich innerhalb des Rahmens und für jede Einlagengruppierung finden sich Koinzidenzen mit indischen Referenzproben.

Das Hauptfeld fällt mit Granaten aus einem Vorkommen an der Grenze zwischen den Bundesstaaten Orissa und Madhya Pradesh zusammen. Auch einige indische Granate ohne bekannte Fundlokalität liegen dort. Die Referenzgranatgruppe aus Hyderabad (Andhra Pradesh) berührt das Hauptfeld zwar, ihr Schwerpunkt aber ist wegen etwas niedrigerer Calciumgehalte verschoben.

Die Gruppe S1 wird zum einen von Granaten aus dem Bundesstaat Tamil Nadu (dem früheren Madras) und zum anderen von Referenzgranaten aus dem nordindischen Rajasthan bevölkert. Während bei den Rajasthan-Granaten der relativ konstante Calciumgehalt bei etwas niedrigeren Eisenwerten dafür sorgt, daß diese eher am Rande von S1 liegen und sozusagen eine Brücke nach S3 schlagen, folgen die Granate aus Tamil Nadu deutlicher dem Verlauf von Gruppe S1 und stehen über zwei auf Gruppe S2 liegenden Proben mit dieser in Verbindung. Diese Tendenz ist in dem System Eisen: Mangan ebenfalls zu beobachten.

³⁶ Lena Tormanterä, Helsinki, persönl. Mittlg.

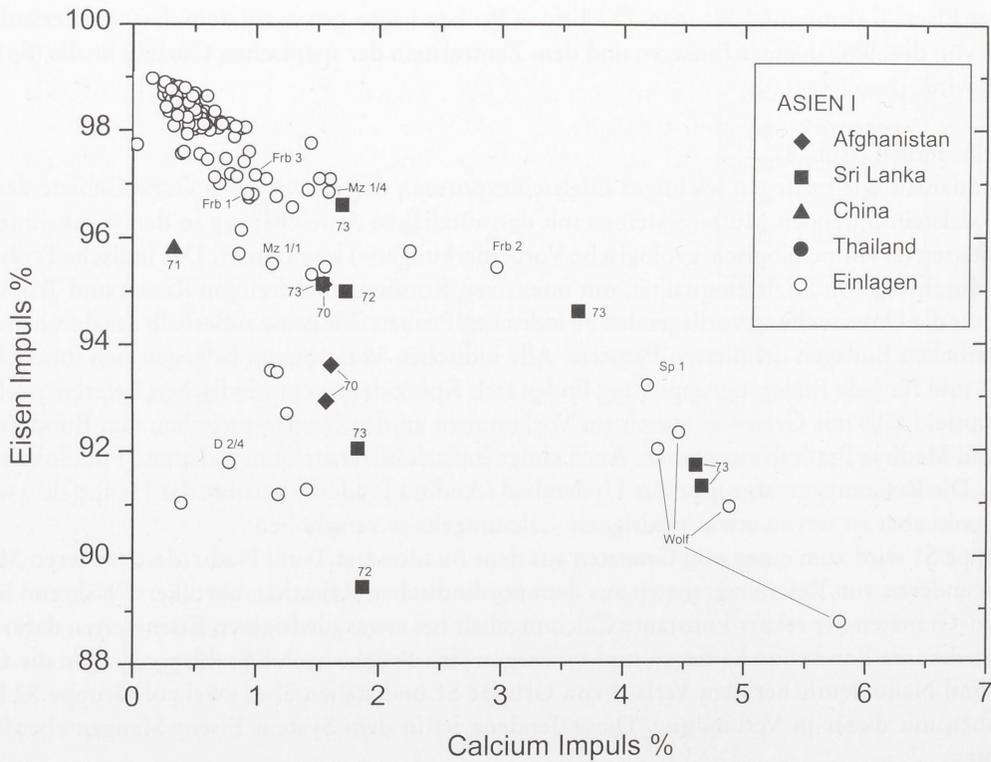
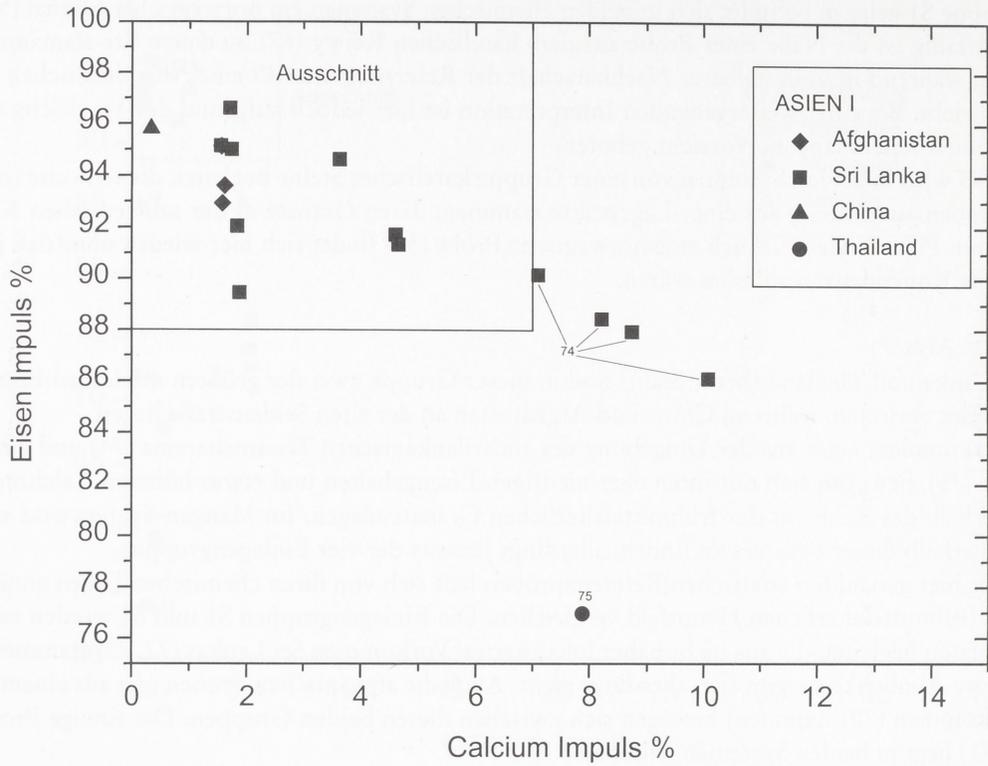


Abb. 7 a. b: Röntgenfluoreszenzdaten des Systems Eisen: Calcium für Referenzgranate aus Asien (ohne Indien). Abb. 7 b zeigt den Wertebereich im Ausschnitt, der den Daten für die frühmittelalterlichen Einlagen entspricht.

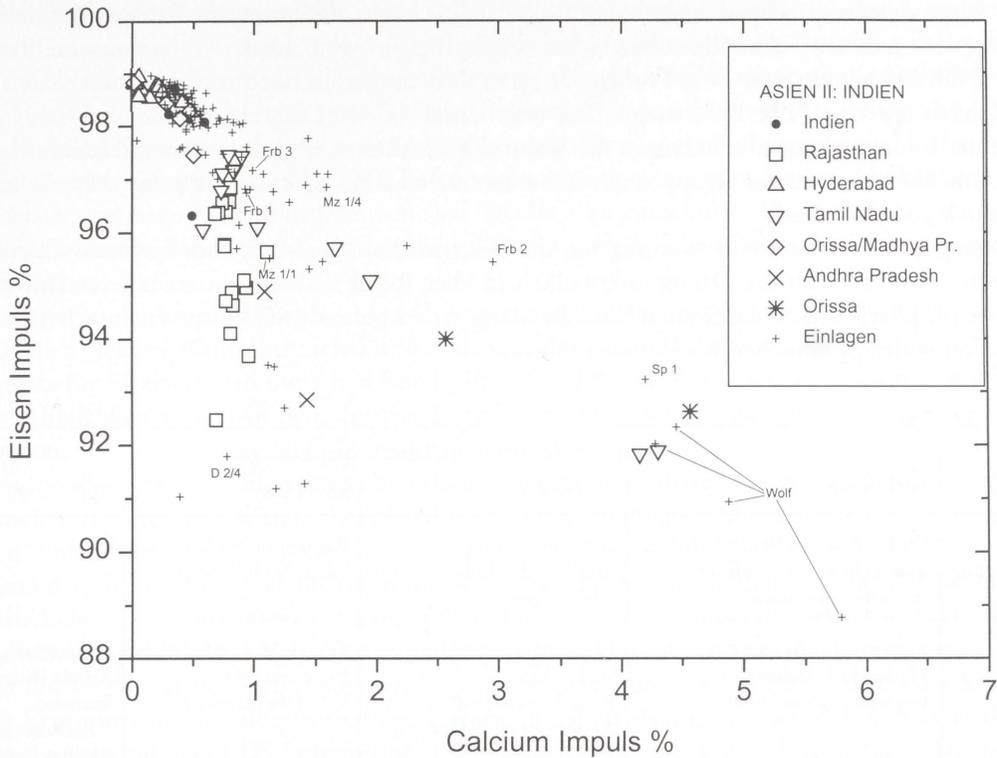


Abb. 8 Röntgenfluoreszenzdaten des Systems Eisen: Calcium für Referenzgranate aus Indien.

Von den beiden beiden Granaten aus Andhra Pradesh nimmt einer genau eine Position zwischen S1 und S3 ein, der zweite eher eine auf S3. Eine der Proben aus Orissa liegt auf S2, die andere zwischen S1 und S2 und zeigt somit eine etwas ähnliche Tendenz wie die Referenzgruppe aus Tamil Nadu.

Die chemische Charakterisierung der indischen Granate ohne Fundpunktangabe deutet darauf hin, daß daran wahrscheinlich Vorkommen aus Orissa/Madhya Pradesh, eventuell auch Rajasthan oder Tamil Nadu beteiligt sind.

Interpretation und Bewertung der RFA-Daten

Tabelle 3 gibt eine zusammenfassende Übersicht über den Grad der Übereinstimmung zwischen der chemischen Zusammensetzung der vier Einlagengruppen und der Referenzgranate, wie aus den Diagrammen ablesbar ist. Die Rubrik »gute Übereinstimmung« ist für Referenzgranate reserviert, deren Datenpunktwolke mit ihrem Schwerpunkt direkt auf eine der Gruppen H, S1, S2 oder S3 fällt. Als Referenzgranate mit »geringfügiger Ähnlichkeit« wurden solche eingestuft, deren Schwerpunkt neben einer Einlagengruppe zu liegen kommt, die aber nur mit ein oder zwei Datenpunkten direkt überlappen. »Benachbart« beschreibt eine Lage in unmittelbarer Nähe einer Einlagengruppe, jedoch ohne Überlappung. Vorkommen, deren Datenpunkte deutlich entfernt von allen Gruppen liegen, weisen dementsprechend »keine Ähnlichkeit« auf. Diese Aufteilung entspricht auch der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Vorkommen tatsächlich als Quelle für die frühmittelalterlichen Rohsteine gedient hat³⁷. Bei der Bewertung der einzelnen Vorkommen hinsichtlich der chemischen Ähnlichkeit wurde auch berücksichtigt, durch welche Anzahl an Datenpunkten das jeweilige Referenzmaterial repräsentiert ist. Eine »gute Übereinstimmung

³⁷ Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, daß ein Vorkommen mit identischer chemischer Zusammensetzung

existiert, welches bei der Beschaffung des Referenzmaterials nicht berücksichtigt wurde.

mung« birgt dementsprechend eine hohe Wahrscheinlichkeit, daß man im frühen Mittelalter das Rohmaterial von diesen Vorkommen bezog, bei »geringfügiger Ähnlichkeit« könnte man bei Referenzgranaten, die nur mit ein oder zwei Proben vertreten sind, immerhin noch von einer begrenzten Wahrscheinlichkeit sprechen. Für Referenzgranate, welche sich in den Diagrammen lediglich in Nachbarschaft einer Einlagengruppe befinden, ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, während Referenzgranate ohne Ähnlichkeit zu einer der Gruppen mit Sicherheit nicht als Rohsteine für frühmittelalterlichen Granatschmuck gedient haben.

Der vorrangige Schritt bei der Bewertung war die Übereinstimmung im System Eisen: zu Calcium, da, wie bereits erwähnt, sich die Datenpunktwolken in aller Regel sauberer differenzierten. Im zweiten Schritt wurde überprüft, ob das System Eisen zu Mangan dem gefundenen Muster entsprach (was in keinem Fall zu widersprüchlichen Ergebnissen führte).

Korrelation	Gruppen der frühmittelalterlichen Einlagen			
	H (N = 59)	S1 (N = 31)	S2 (N = 5)	S3 (N = 7)
Gute Übereinstimmung	Orissa/Madhya Pradesh (Indien) und nicht näher lokalisierbare indische Vorkommen	Simplon (Schweiz), Tamil Nadu (Indien), Holt (Norw.)	Ratnapura (Sri Lanka), Tamil Nadu (Indien)	
Geringfügige Ähnlichkeit	Zirkenreuth (Bayern), Hyderabad (Indien), Fogarasch (Rumänien)	Fogarasch (Rumänien), Sri Lanka, Rajasthan (Indien), Andhra Pradesh (Indien)	Ötztal, Millstätter Alpe, Passeiertal (Österr.), Val Piora (Schweiz)	Zirkenreuth (Bayern), Kittelä (Russ. Karelien), Spanien, Rajasthan (Indien), Andhra Pradesh (Indien)
Im Diagramm benachbart	Simplon (Schweiz)	Bodenmais (Bayern), Spanien, Türkei, Klovstenen, Tiltvika (Norw.), Kejwy (Karelien), Sri Lanka, Afghanistan, China	Zillertal (Österreich), Orissa (Indien), Rindemock (Österreich)	Falun (Schweden), Sri Lanka, Afghanistan
Keine Ähnlichkeit	BAYERN: Arnbruck, Grube Bayerland, Stammbach ALPEN: Albigna, Piz Trubinasca, Zermatt, Schneeberg, OSTEUROPA: Böhmen, Valea Vilevi, Valea Iedereaua (beides Rumänien) SKANDINAVIEN: Steli, Skarbu, Storvarts, Hov, Svartås, Valnesfjord, Hammerfest, Bodö, Arendal (Norwegen); Ängsö, Åtvidaberg (Schweden); Weißmeer (Russ. Republik) ASIEN: Tissamaharama (Sri Lanka), Thailand			

Tab. 3 Zusammenfassende Übersicht über die chemische Ähnlichkeit zwischen den vier Gruppen (H = Hauptfeld, S1 bis S3 = Streufelder) der frühmittelalterlichen Einlagen und den Referenzgranaten, wie sie aufgrund der semiquantitativen Röntgenfluoreszenzdaten ermittelt wurde.

Aufgrund der semiquantitativen Röntgenfluoreszenzdaten ergibt sich somit eine große Wahrscheinlichkeit, daß die Granateinlagen der Hauptgruppe aus einer indischen Lagerstätte stammen, die im Grenzgebiet zwischen den Bundesstaaten Orissa und Madhya Pradesh lokalisiert ist. Keine andere Gruppe von Referenzgranaten bietet eine vergleichbare Übereinstimmung in allen chemischen Parametern. Es gibt drei Referenzgranatgruppen, die mit jeweils einem einzelnen Datenpunkt auf dem Hauptfeld zu liegen kommen: Granate aus dem oberpfälzischen Zirkenreuth bei Waldsassen, dem rumänischen Fogarasch-Gebirge (hier ist der einzige passende Datenpunkt auch noch ein »Ausreißer« dieser Gruppe) und aus der Gegend des im indischen Bundesstaat Andhra Pradesh gelegenen Hyderabad. Die Granate aus der Region um den Schweizer Simplon-Paß hingegen liegen genau zwischen der Hauptgruppe und Gruppe S1. Die überwiegende Mehrzahl der untersuchten Vorkommen hat dahingegen keinerlei Ähnlichkeit mit der Hauptgruppe.

Auch bei der von der Probenanzahl her zweitstärksten Gruppe an frühmittelalterlichen Granateinlagen S1 ist ein Granatvorkommen aus Indien als wahrscheinliche Quelle beteiligt. Der südindische Bundesstaat Tamil Nadu bietet, neben den bereits in Zusammenhang mit der Hauptgruppe erwähnten Granaten aus dem Simplon-Gebiet, eine gute Übereinstimmung mit dem S1-Feld. An Gruppe S1 schließen sich mehr Referenzgranate an, die eine benachbarte Lage oder eine geringfügige Ähnlichkeit aufweisen, als es für die Hauptgruppe der Fall ist. Die Referenzgranate mit einer geringfügigen Ähnlichkeit oder einer benachbarten Lage in den Diagrammen sind Tabelle 3 zu entnehmen. Da es sich nur um eine einzelne Referenzprobe handelt, muß die Zugehörigkeit der norwegischen Probe aus Holt zur Gruppe S1 fraglich bleiben.

Für Gruppe S2, die hauptsächlich aus den Granaten des Wolfsheimer Pectorals gebildet wird, gibt es zwei Quellen gleicher Wahrscheinlichkeit: Aus dem ceylonesischen Edelsteindistrikt Ratnapura und aus dem bereits für S1 erwähnten indischen Bundesstaat Tamil Nadu. Zur »zweiten Garnitur« mit geringfügigen Ähnlichkeiten oder in benachbarter Lage in den Diagrammen gehört eine Reihe von alpinen Vorkommen.

Mit Gruppe S3 zeigte kein Referenzgranatvorkommen eine brauchbare Übereinstimmung. Einige Referenzgranate, darunter diverse indische, bieten immerhin geringfügige Ähnlichkeiten mit dem entsprechenden Einlagenmaterial.

Aufgrund der vorliegenden Datenbasis ist die Wahrscheinlichkeit hoch, daß das Material für die frühmittelalterlichen Granatplättchen aus Ländern wie Indien oder Sri Lanka importiert worden ist. Auch wenn zusätzlich eine alpine Lagerstätte (Simplon) in Frage kommt, sind bei der Hauptgruppe, S1 und S2 zwei Drittel der Steine einer exotischen Lagerstätte zuzuordnen, sei es nun Indien oder Sri Lanka. Um die Ergebnisse dieser halbquantitativen Untersuchung zu verifizieren, wurden weitere analytische Untersuchungen mit dem EDS-System eines Rasterelektronenmikroskopes durchgeführt. Da nun auch die mit der RFA nicht zugänglichen Elemente (bes. Magnesium und Titan) miteinbezogen wurden, konnte ein Vergleich mit publizierten Vollanalysen durchgeführt werden. Dafür wurden für jede Gruppe repräsentative Granateinlagen und dazu passende Referenzsteine ausgewählt, und aufgrund der Beobachtungen gezielt Literaturdaten über Granate aus Indien und Sri Lanka gesammelt.

Ergebnisse der Mikro-Vollanalysen

Das Einbeziehen einer weiteren chemischen Analyseverfahren war aus mehreren Gründen notwendig. Zum einen fehlten bei den chemischen Analysen mit der hauseigenen Röntgenfluoreszenzanlage zur Erstellung einer herkömmlichen Vollanalyse die Elemente Magnesium und Titan. Die mit der RFA gefundene Gruppierung und die daraus resultierenden Schlußfolgerungen sollten unter Berücksichtigung dieser beiden Komponenten überprüft werden. Zum zweiten verfügt man mit einem repräsentativen Satz an Vollanalysen über die Möglichkeit, publizierte Granatanalysen als Referenz heranzuziehen. Da die Analytik am Elektronenmikroskop Punktanalysen im Mikrobereich ermöglicht, ließ sich zudem das Vorhandensein interner chemischer Inhomogenitäten überprüfen. Ein weiterer Vorteil liegt in der größeren Variabilität der analysierbaren Probengeometrie gegenüber der RFA, denn auch gewölbte, kleine und eingetieft liegende Steine können untersucht werden³⁸.

Aus dem Gesamtumfang an frühmittelalterlichen Objekten wurden 37 repräsentative Granateinlagen ausgewählt, von denen 25 zur mit der RFA ermittelten Hauptgruppe, acht zu den drei Streufeldern S1 bis S3 gehörten, während vier Einlagen vorher nicht mit der RFA untersucht worden waren. Bei den Referenzgranaten wurden gezielt diejenigen ausgewählt, die zum einen bei der Interpretation der Korre-

³⁸ So z.B. die kleineren Randsteine der spanischen Gürtelschnalle. Allerdings ist die Probenhöhe bei einem Elektronenmikroskop der limitierende Faktor, was bei dem hier

verwendeten RFA-Gerät wiederum nicht problematisch war.

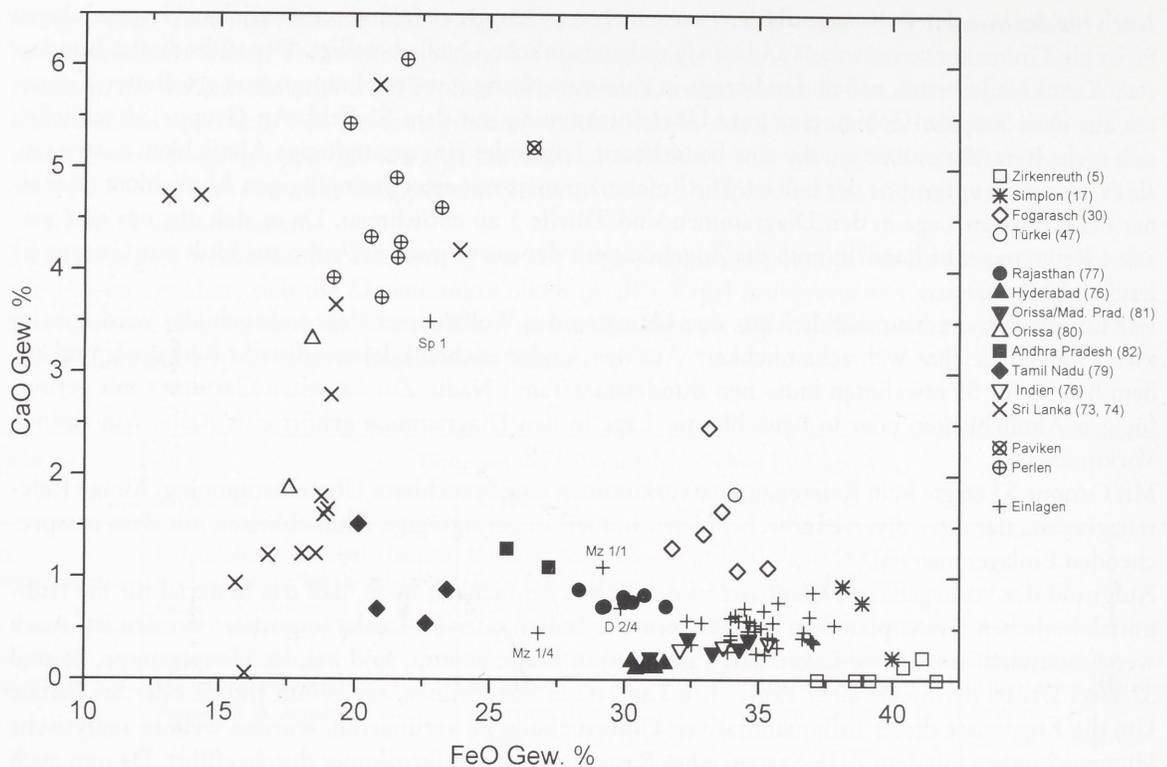


Abb. 9 a-c: Ergebnisse der Mikrovollanalysen ausgewählter Granateinlagen und Referenzsteine (Numerierung der Legende s. Tab. 2). Darstellung in den Systemen (a) Eisenoxid: Calciumoxid, (b) Eisenoxid: Manganoxid³⁹, (c) Calciumoxid: Magnesiumoxid. Die Daten für »Paviken« beziehen sich auf die Analyse eines Granatbruchstücks eines venedelzeitlichen Rohsteindepots auf Gotland (Löfgren 1973). Unter »Perlen« sind die Werte von Perlen und Bruchstücken von Ausgrabungen im Oman bzw. Sri Lanka zusammengefaßt (Rösch 1997). In allen Darstellungen wird der Gesamteisengehalt als FeO dargestellt.

lationsdiagramme in die engere Wahl gekommen waren und von denen keine publizierten chemischen Daten zur Verfügung standen⁴⁰.

Die frühmittelalterlichen Einlagen

– Die chemische Zusammensetzung (Abb. 9)

Während die Titan-Gehalte bei allen Proben unter der Nachweisgrenze des Gerätes lagen (< 0,01 Gew.-% TiO₂) konnten für Magnesium Gehalte zwischen 4,04 und 10,22 Gew.-% MgO ermittelt werden, wobei 33 Einlagen (= 89%) in den Bereich zwischen 4,04 und 6,19 Gew.-% MgO fallen. Ein entspre-

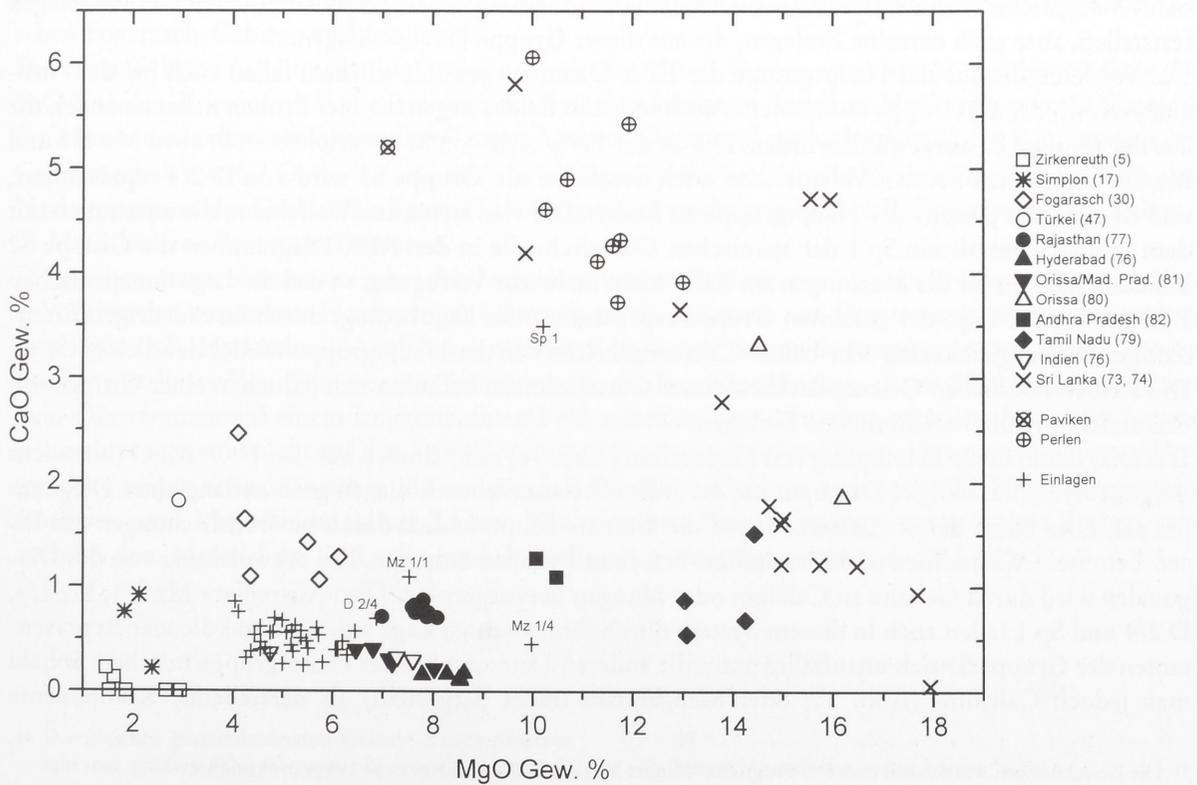
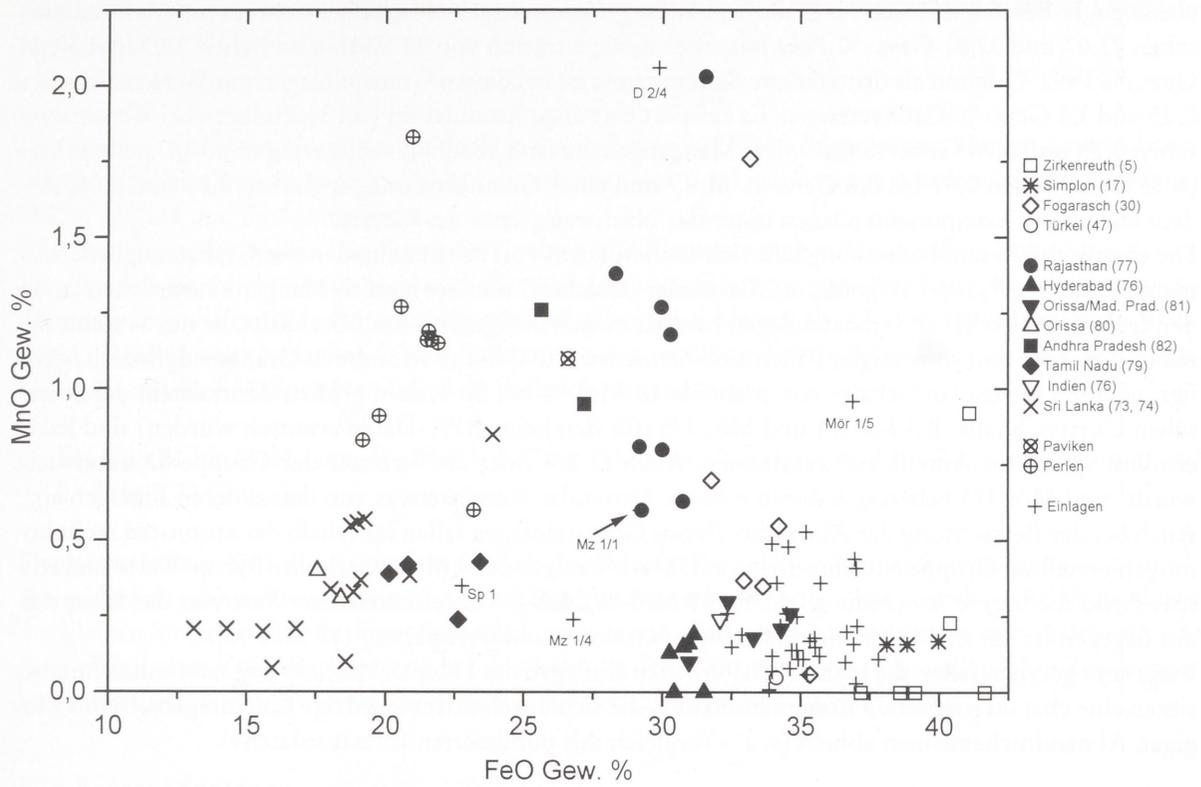
³⁹ Bei den mit einem offenen, nach unten zeigenden Dreieck bezeichneten Proben aus nicht näher lokalisierten indischen Vorkommen wurde bei 2 der 3 Analysen der Mangan-gehalt nicht ausgedruckt. Dadurch fehlen diese Proben auf den beiden Mangan - Diagrammen.

⁴⁰ Für diese Analysen wurde das Elektronenmikroskop des »Forschungsinstituts für mineralische und metallische Werkstoffe, Edelsteine/Edelmetalle« in Idar Oberstein genutzt.

Gerät: Rasterelektronenmikroskop: Philips XL 30 mit EDAX PV 9760-29. Standards: Pyrop und Bustamit von

Astimex. Vakuum, 25 kV Anregungsspannung, Probenstrom 9-10 mA (Einzelbestimmung), Vergrößerung 300x, 200 sec Zählzeit.

Fibeln, wie auch die für die RFA-Analysen anpolierten Referenzgranate, konnten komplett in die Probenkammer des Rasterelektronenmikroskopes eingebracht werden. Zuvor wurden diese in einer Sputteranlage mit elementarem Kohlenstoff bedampft, um sie leitfähig zu machen. Die frühmittelalterlichen Objekte wurden im ganzen besputtert und untersucht und nach der Messung von den Restauratoren des RGZM wieder gründlich gereinigt.



chend enger Bereich läßt sich für Eisen finden. Insgesamt erstrecken sich die Daten für die Einlagen zwischen 22,67 und 37,81 Gew.-% FeO mit einer Konzentration von 33 Werten zwischen 32,3 und 37,81 Gew.-% FeO. Calcium als drittstärkste Komponente ist bei diesen Granateinlagen mit Werten zwischen 0,25 und 3,5 Gew.-% CaO vertreten. Es existiert eine enge Kumulation von 34 Einlagen bei Werten zwischen 0,25 und 0,76 Gew.-% CaO. Die Mangangehalte sind ebenfalls sehr gering mit 35 Datenpunkten (= 95%) zwischen 0,01 bis 0,6 Gew.-% MnO und einer Gesamtstreuung zwischen 0,01 und 2,06. Andere chemische Komponenten lagen unter der Nachweisgrenze des Gerätes.

Die chemische Zusammensetzung läßt sich auch in Form von Prozentanteilen der Granatenglieder Almandin (Eisen), Pyrop (Magnesium), Grossular (Calcium) und Spessartin (Mangan) ausdrücken⁴¹. Bei den frühmittelalterlichen Granateinlagen handelt es sich maßgeblich um Mischkristalle des Systems Almandin-Pyrop. Nur in wenigen Fällen sind nennenswerte Gehalte an anderen Granatengliedern beteiligt, nämlich Grossular-Gehalte von mehr als 10 Mol-% bei Sp 1, dem großen Zentralstein der spanischen Gürtelschnalle. Bei Mz 1/1 und Mör 1/5 (für den keine RFA-Daten ermittelt wurden) sind leicht erhöhte Spessartin-Anteile zu verzeichnen. Auch D 2/4, der als Vertreter der Gruppe S3 untersucht wurde, und Mör 1/3 heben sich durch erhöhte Grossular-Anteile etwas von den anderen Einlagen ab. Auch bei der Betrachtung der Almandin-Pyrop Granateinlagen fallen innerhalb der ansonsten recht homogen verteilten Gruppe einzelne Steine auf. Mz 1/4 zeigt mit 39 Mol-% erhöhte Pyrop-Werte und entsprechend niedrigere Almandin-Gehalte (59 Mol-%). Da 1/3 als eisenreichster Vertreter des Hauptfeldes dagegen ist mit 81 Mol-% deutlich almandinreicher und pyropärmer (17 Mol-%).

Insgesamt gesehen fallen die frühmittelalterlichen Einlagen des Hauptfeldes sehr eng zusammen und besitzen eine charakteristische Zusammensetzung, die sich durch extrem niedrige Calciumgehalte von gängigen Almandinchemismen abhebt (s. a. »Vergleich mit publizierten Literaturdaten«).

– Gruppierungsmuster

Dieses Verteilungsmuster entspricht weitgehend demjenigen, das auch bei den RFA-Daten ohne die Beteiligung von Magnesium ermittelt wurde.

Wie bei den RFA-Daten läßt sich sowohl im Diagramm Eisenoxid: Calciumoxid (Abb. 9a), bzw. Eisenoxid: Manganoxid (Abb. 9b) eine große Ähnlichkeit innerhalb der frühmittelalterlichen Granateinlagen feststellen, aber auch einzelne Einlagen, die aus dieser Gruppe herausschlagen.

Die Vertreter, die aus der Hauptgruppe der RFA-Daten ausgewählt wurden, fallen auch bei den Vollanalysen wieder als Gruppe zusammen. Am Rande des Feldes liegen die vier Proben nebeneinander, die aus der Gruppe S1 ausgewählt wurden. Die an der Peripherie von S1 verzeichneten Proben Mz 1/1 und Mz 1/4 setzen sich bei den Vollanalysen noch deutlicher ab. Gruppe S3 wird von D 2/4 repräsentiert, und ist ebenfalls jenseits der Hauptgruppe zu finden. Die vier Steine aus Wolfsheim, die zusammen mit dem großen Zentralstein Sp 1 der spanischen Gürtelschnalle in den RFA-Diagrammen die Gruppe S2 bildeten, standen für die Messungen am REM nicht mehr zur Verfügung, so daß die Lage der spanischen Einlage Sp 1 die Lage der gesamten Gruppe repräsentiert. Sie liegt bedingt durch ihre niedrigen Eisenoxidgehalte bei gleichzeitig sehr hohen Calciumgehalten von der Hauptgruppe wieder deutlich entfernt. Die kleinen randlichen Granatplättchen dieser Gürtelschnalle befinden sich jedoch in einer Gruppe mit den anderen frühmittelalterlichen Einlagen.

Das Diagramm unter Beteiligung von Magnesium (Abb. 9c) sieht ähnlich aus. Bei FeO: MgO (hier nicht dargestellt) reihen sich die Datenpunkte der frühmittelalterlichen Einlagen grob entlang einer Diagonalen auf. Dies hängt damit zusammen, daß die Granate hauptsächlich durch binäre Mischungen aus Eisenbetonten Almandinen und Magnesiumbetonten Pyropen bestehen. Die Abweichung von der Diagonalen wird durch Gehalte an Calcium oder Mangan hervorgerufen. Die »Ausreißer« Mz 1/1, Mz 1/4, D 2/4 und Sp 1 fallen auch in diesem System durch ihre abseitige Lage auf, während die vier Repräsentanten der Gruppe S1 sich unauffällig unter die anderen Datenpunkte der Hauptgruppe mischen. Sobald man jedoch Calcium- (Abb. 9c) oder Manganoxid (nicht dargestellt) als darstellende Komponente

⁴¹ Die Berechnungen wurden mit dem PC-Programm Minpet Version 2.02 nach Deer et al. 1992 durchgeführt.

wählt, separiert sich dieses Grüppchen am Rande der Datenwolke, und zwar in den Mangan-Diagrammen deutlicher als bei Calcium.

– Zonarbau

Die interne chemische Homogenität der Proben in Bezug auf Eisen, Magnesium, Mangan und Calcium wurde an sieben Steinen getestet. Neben vier Steinen aus der Hauptgruppe wurden die drei Ausreißer D 2/4, Mz 1/4 und Sp 1 untersucht.

Mit Ausnahme des spanischen Steins Sp 1 zeigen alle Elemente eine ausgesprochen homogene Verteilung, so daß man nicht von ausgesprochen zonar gebauten Granaten sprechen kann. Für die genannten Elemente liegt die mittlere Abweichung vom Mittelwert bei kleiner als 0,1 Elementoxidprozent auf einer Analysendistanz zwischen 2 Meßpunkten von bis zu 0,8 cm⁴². Als Beispiel sei Probe D2/4 aufgeführt, die mit fünf Meßpunkten folgende Variationsbreiten zeigt:

FeO: 29,81 bis 29,87 Gew.-%, MnO: 1,97 bis 2,12 Gew.-%, MgO: 6,73 bis 7,09 Gew.-% und CaO 0,68 bis 0,72 Gew.-%.

Der zentrale Stein Sp 1 der spanischen Gürtelschnalle zeigt die größten Elementschwankungen. Sein Eisenoxidgehalt schwankt zwischen 21,87 und 23,65%. Bemerkenswerterweise zeigen die REM-Analysen der kleinen Steine am Rande dieser Schnalle keinen merklichen Zonarbau, so wie sie sich überhaupt von ihrer chemischen Zusammensetzung her deutlich von dem Zentralstein unterscheiden. Ihre Zusammensetzung ist mit derjenigen der anderen Steine aus der Hauptgruppe zu vergleichen

Die Referenzgranate

Aus dem Probensatz an Referenzgranaten wurden 49 Proben aus zwölf Vorkommen ausgewählt, deren Röntgenfluoreszenzdaten für Fe: Ca und Fe: Mn mit frühmittelalterlichen Einlagen übereinstimmen oder zumindest teilweise überlappten. Alle indischen und ceylonesischen Referenzgranate waren mit repräsentativen Proben vertreten, zusätzlich noch die Granate aus Zirkenreuth, Simplon, dem rumänischen Fogarasch-Gebirge und der Türkei.

Die eisenreichsten (und magnesiumärmsten) Proben sind mit Werten zwischen 37 und fast 42 Gew.-% FeO jene aus Zirkenreuth⁴³, die eisenärmsten (mit dem höchsten Anteil an MgO) mit etwa 13 Gew.-% FeO Proben aus dem ceylonesischen Tissamaharama. Diese sind auch gleichzeitig die Spitzenreiter im Calciumgehalt mit 4,7 Gew.-% CaO und die einzigen Proben mit einem Titanoxidgehalt oberhalb der Nachweisgrenze des Geräts. Die Spanne für Manganoxid reicht von Null (z.B. Zirkenreuth) bis 2 Gew.-% MnO für eine Probe aus Rajasthan.

Der probeninterne Zonarbau ist bei den hier untersuchten Referenzgranaten nicht sehr ausgeprägt. Viele Vorkommen zeigen ihre Homogenität bereits dadurch, daß sie in den Diagrammen relativ eng zusammenliegen (z.B. Hyderabad). Auch bei den anderen indischen Steinen konnte kein ausgeprägter Zonarbau festgestellt werden. Dies erstaunt besonders für die Rajasthan-Proben, die sich bei beiden Manganoxid-Diagrammen auf einem langgestreckten Feld verteilen. Diese Heterogenität ist also in der Lagerstätte zu suchen und nicht auf den kristallinen Zonarbau zurückzuführen. Den ausgeprägtesten Unterschied zeigen die rumänischen Proben aus dem Fogarasch-Gebirge, welche für die Hauptkomponenten Eisen- und Magnesiumoxid um 1 Gew.-% schwanken. Bei den anderen europäischen Proben, wie auch bei dem Material aus Sri Lanka, sind ebenfalls nur geringe Schwankungen zu beobachten.

⁴² Die üblichen gesteinsbildenden Granate weisen meistens sehr viel größere Schwankungen auf (s. z.B. Deer et al.

1982).

⁴³ Reiner Almandin besitzt 43,3 Gew. % FeO.

Vergleich zwischen den frühmittelalterlichen Einlagen und den Referenzgranaten

Da bei den Vollanalysen im Rasterelektronenmikroskop nun auch Magnesium berücksichtigt wurde, ergeben sich aus den Komponenten Eisen, Magnesium, Calcium und Mangan fünf mögliche binäre Diagramme, von denen drei hier abgebildet sind (Abb. 9 a-c).

In allen Diagrammen zeigen die europäischen Referenzgranate aus Zirkenreuth, dem Simplon-Gebiet, der Türkei und dem rumänischen Fogarasch-Gebirge deutliche Unterschiede zu den frühmittelalterlichen Einlagen, auch wenn letztere zum Teil ein ähnliches Verhältnis Eisen: Mangan aufweisen wie jene vier Steine, welche bei den RFA-Diagrammen einen Teil der Streugruppe S1 bildeten (in Abb. 9b nicht extra gekennzeichnet).

Bei den indischen Steinen zeigt sich das Bild differenzierter. In den beiden Diagrammen, die Eisenoxid miteinbeziehen, liegen die Steine aus dem Grenzgebiet zwischen Orissa und Madhya Pradesh genau auf dem durch die frühmittelalterlichen Einlagen definierten Feld (Abb. 9a, b). Da sie aber mit einem Mittelwert um die 7 Gew.-% Magnesiumoxid um etwa 2% vom Schwerpunkt des Fibelfeldes abweichen, fallen sie in allen Diagrammen mit MgO immer genau an den Rand des Fibelfeldes (Abb. 9c). Entsprechendes gilt für das Grüppchen indischer Steine ohne Fundlokalität (angeblich Nordindien, in den Diagrammen als offenes Dreieck nach unten), die unter Umständen z.T. auch zu den Orissa/Madhya Pradesh Steine gehören könnten. Einer dieser unspezifizierten Steine aus Indien, von dem leider die Mangan-Daten fehlen, fällt gar mit dem Einlagenfeld zusammen.

Der Zentralstein der spanischen Gürtelschnalle (Sp 1) findet als calciumreicher Vertreter der Gruppe S2 am ehesten ein passendes Gegenstück unter den ceylonesischen Steinen, denn er liegt bei allen Diagrammen in unmittelbarer Nachbarschaft dieser Gruppe. Dies läßt sich auch auf die Perlen und Bruchstücke aus dem Oman bzw. Sri Lanka (Rösch et al. 1997) übertragen, die im Diagramm unter »Perlen« zusammengefaßt sind. Diese sind zwar etwas reicher an Mangan, aber die Schwankungsbreite dieses Elements ist bei vielen Lagerstätten ausgeprägter als für die anderen chemischen Parameter. Drei der Proben stammen aus der Grabung von Tissamaharama an der Südküste Sri Lankas. Die beiden hier untersuchten Referenzgranate aus der Gegend um Tissamaharama besitzen allerdings wenig chemische Verwandtschaft mit diesen Daten, während Granate aus der Gegend von Ratnapura diesbezüglich vielversprechender sind. Die beiden Ausreißer Mz 1/1 und D 2/4 sind bei allen Diagrammen in unmittelbarer Nähe der Referenzgranate aus Rajasthan zu finden.

In diesem Zusammenhang kann auch die Analyse eines Granatstücks aus einem gotländischen Rohsteindepot betrachtet werden (Löfgren 1973). Die Zusammensetzung der Probe ist unter dem Fundort Paviken in den Diagrammen zu finden. Das vordelzeitliche Stück zeigt keine Ähnlichkeit zu den hier untersuchten frühmittelalterlichen Einlagen, auch kein Referenzgranat ist mit dem gotländischen Fund zu vergleichen. Jene Perlen aus dem Oman und die Proben aus Süd-Sri Lanka (eine Perle und zwei Bruchstücke) weisen nur eine entfernte chemische Verwandtschaft zu Paviken auf.

Für den Zentralstein Sp1 der spanischen Gürtelschnalle wurden aufgrund der RFA-Daten neben Sri Lanka auch alpine Gebiete als mögliche Herkunftsgebiete diskutiert. Jene sind in der Regel aber noch reicher an Calcium, d. h. Grossular-Anteilen⁴⁴.

Vergleich mit publizierten Granatanalysen aus Indien bzw. Sri Lanka

Nach den Voruntersuchungen mit der Röntgenfluoreszenz und dem Abgleich ausgewählter Proben anhand von Mikrovollanalysen, steht nun der Vergleich mit publizierten Granatdaten gleichsam als drittes

⁴⁴ S. u.a. Ackermann D. et al., *Contr. Mineral. Petrol.* 37, 29-38 (1972). – Hoinkes G., *N. Jb. Miner. Abh.* 131, 272-303 (1978). – Koller F., *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 23, 275-315

(1976). – Miller C., *Contr. Mineral. and Petrol.* 28, 42-56 (1970). – Tröger, E., *N. Jb. Miner. Abh.* 93, 1-44 (1959).

Standbein zur Verfügung. Da sich nach den Voruntersuchungen und aufgrund der antiken Quellenlage Indien und Sri Lanka als besondere Favoriten erwiesen, wurde gezielt nach publizierten Granatdaten aus dieser Region gesucht und eine Vergleichsdatenbank erstellt.

In der einschlägigen mineralogisch-geologischen Literatur wurde seit dem Aufkommen der Mikroanalytik in den 60er Jahren ein großer Umfang an Granatdaten publiziert, der mittlerweile weit in die tausende gehen dürfte. Anhand der Eisen- und Magnesiumverteilung zwischen benachbarten Mineralen lassen sich nämlich Druck- und Temperaturparameter bei der Gebirgsbildung ableiten, die z.B. für das Verständnis der Entwicklung der frühen Erdkruste herangezogen wurden. Indien und Sri Lanka sind aufgrund der geologischen Verhältnisse für diese Art von Untersuchungen prädestiniert, so daß gerade aus dieser Region sehr viele Granatanalysen existieren, die eine hervorragende Erweiterung der Datenbasis über das eigene Referenzprobenmaterial hinaus ermöglichen. Die Einschränkung ist jedoch, daß Material in Edelsteinqualität praktisch keine Berücksichtigung findet, da diese im allgemeinen nicht aus primären Gesteinen in situ, sondern aus sekundären umgelagerten Sedimenten gewonnen werden, in denen die ursprüngliche Mineralparagenese nicht mehr ablesbar und auswertbar ist.

Aus den entsprechenden Publikationen wurden 857 Granatdatensätze herausgezogen. Das Datenmaterial umfaßt alle publizierten Granate, unabhängig zu welcher der chemischen Grundspezies der jeweilige Datensatz zugerechnet werden kann, und auch bezüglich des Aussehens und der Steinqualität wurde keine Vorauswahl getroffen⁴⁵.

Die Granatdatenbank beinhaltet Material aus dem Himalaya, dem Bundesstaat Rajasthan, dem Gebirgszug der Eastern Ghats und vor allem aus Südindien. Aus Sri Lanka ist vornehmlich der zentrale und südliche Teil mit Datensätzen vertreten. Die Genauigkeit der Ortsangaben schwankt von Publikation zu Publikation beträchtlich, so daß oft nur die Großregion oder ein Gebirgszug als Bezugspunkte angegeben werden können. Zudem können in einem Fundpunkt unterschiedlichste Gesteine mit sehr unterschiedlich zusammengesetzten Granaten zusammentreffen, oder aber es ziehen sich granatführende Gesteinslagen über viele Kilometer, die an ganz anderen Lokalitäten wieder zutage treten. Es gestaltet sich somit äußerst schwierig, Datensätze aus verschiedenen Publikationen unter einem Fundpunkt zusammenzufassen, was die Gruppierung und Interpretation enorm kompliziert.

Graphische Darstellung

Für die Präsentation der Daten wurden zwei verschiedene Darstellungsweisen gewählt: einmal als sogenannte »Dreiecksdiagramme«, die einen Überblick über die Spannweite der indischen und sri lankanischen Granate geben und zum zweiten die binären Graphiken, die eine korrektere und detailliertere Auswertung ermöglichen.

In der Mineralogie ist es üblich, bei Mischkristallen wie den Granaten (s. Kapitel »Mineralogisch-geologische Vorbemerkungen«) nicht die chemischen Einzeldaten zu verwenden, sondern diese in Form der reinen Endglieder umzurechnen und den jeweiligen Granat als Mischung aus z.B. X-% Almandin, Y-% Pyrop und Z-% Grossular zu beschreiben. Bei der graphischen Darstellung greift man dann gerne auf die Dreiecksdiagramme zurück, bei denen mehrere Parameter gleichzeitig zur Darstellung eines Granates herangezogen werden. Die Parameter werden so umgerechnet, daß sie als Summe 100% ergeben⁴⁶.

⁴⁵ Es liegt nicht zuletzt daran, daß für die geologisch-petrologisch orientierten Fragestellungen Informationen über Farbe, durchschnittliche Größe, Reinheit und Einschlüsse nicht benötigt werden.

⁴⁶ Durch die Normierung auf 100% sind die drei darzustellenden Parameter keine voneinander unabhängigen Variablen mehr. Ein Punkt ist bereits durch zwei der Parameter eindeutig festgelegt. Abgelesen werden die Diagramme wie

folgt: Die Spitzen des Dreiecks repräsentieren jeweils 100 % eines Parameters, alle Punkte auf der jeweilig einer Dreiecksspitze gegenüberliegenden Dreiecksseite besitzen 0% Anteile des entsprechenden Parameters. Parallel zur Dreiecksseite bis hin zur Dreiecksspitze repräsentieren Geraden alle Werte zwischen Null und Hundert. Ein Punkt mit 50 %-X und 10% Y liegt dort, wo sich die 50%-Linie und die 10%-Linie schneiden.

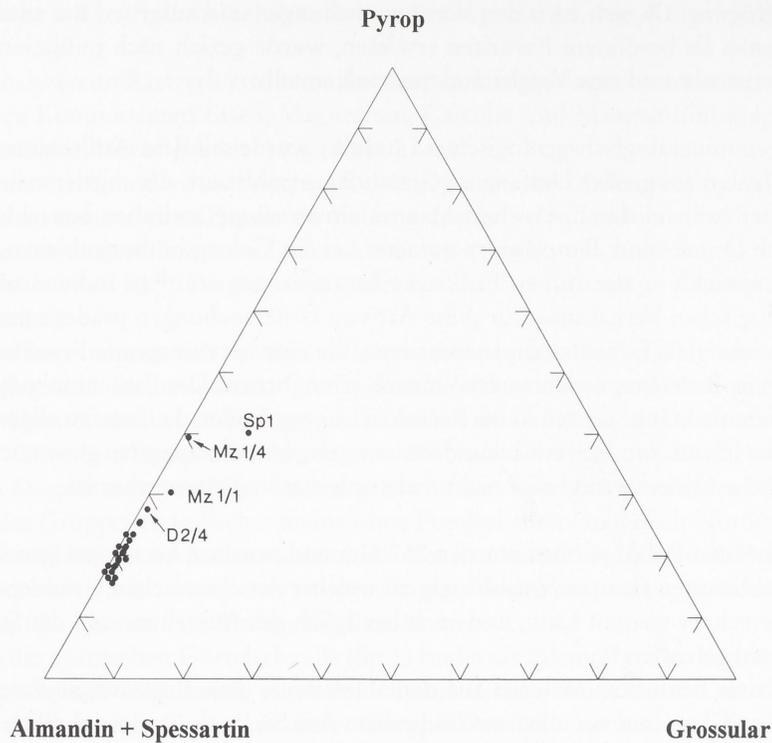


Abb. 10 a Darstellung der frühmittelalterlichen Einlagen im Dreiecksdiagramm. Die ungewöhnlich geringen Calciumgehalte des Hauptfeldes bedingen eine Lage unmittelbar auf oder neben der Pyrop-Almandin Kante.

Für Granate werden oft die Anteile an Pyrop (Mg-Komponente), Grossular (Ca-Komponente) und die Summe von Almandin und Spessartin (Fe- bzw. Mn-Komponente) für Dreiecksdiagramme verwendet. Die chemischen Analysen wurden für die vorliegende Arbeit nach Deer et al. 1992 in Endgliederanteile umgerechnet, wobei die Eisenanteile stets als zweiwertige FeO-Komponente in die Berechnungen einfließen.

Datenauswertung

In den einschlägigen Publikationen werden keine umfangreichen und detaillierten Kataloge mit Granatanalysen veröffentlicht, sondern man führt meist nur einige repräsentative Daten auf, die auch i. d. R. keine statistischen Angaben wie Maximalwerte oder Standardabweichungen enthalten. Aus diesem Grunde muß auf die Anwendung multivariater statistischer Methoden verzichtet werden.

– Die frühmittelalterlichen Einlagen

Die Vollanalysen aus den rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen lassen sich nun zum Zwecke des Vergleichs ebenfalls in die entsprechenden Granatkomponenten umrechnen und im Diagramm Pyrop/Almandin + Spessartin/Grossular darstellen (Abb. 10a). Das Hauptfeld konzentriert sich auf einen Bereich mit hohen Almandin-Gehalten und sehr niedrigen Grossularanteilen. Außerhalb des Feldes liegen die Proben D 2/4, Mz 1/1, Mz 1/4 und Sp 1. Die spanische Probe Sp 1 hebt sich durch ihren hohen Grossularanteil ab, während die anderen drei »Ausreißerproben« vornehmlich durch niedrigere Almandinanteile charakterisiert werden.

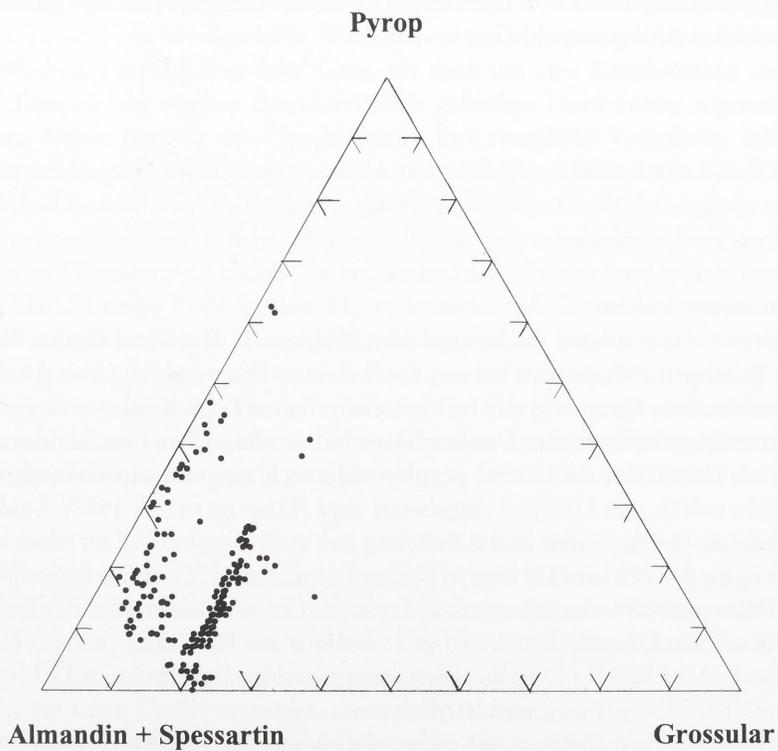
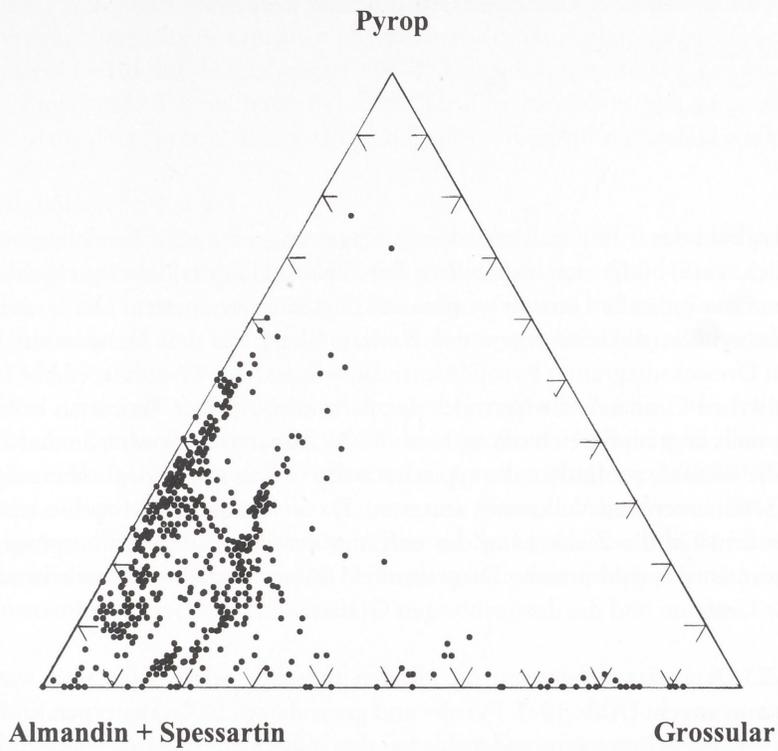


Abb. 10 b. c Publierte Analysen von Granaten aus Indien und Sri Lanka in Granatenglieder umgerechnet und in Dreiecksdiagramm dargestellt. Für den Vergleich mit den frühmittelalterlichen Daten werden jedoch die genaueren Einzeldarstellungen mit den jeweiligen Rohdaten bevorzugt (Abb. 11 a. b bzw. 12 a. b).

Für das Hauptfeld kann folgender Datenbereich angegeben werden:

Almandin:	72-82 Mol-%
Spessartin:	0-2,1 Mol-%
Pyrop:	15-26 Mol-%
Grossular:	0,7-2,4 Mol-%

-- Indien

Während die an das Feld der frühmittelalterlichen Einlagen angrenzenden Bereiche gleichmäßig mit Literaturdaten bestückt sind, bildet sich im direkten Bereich des Hauptfeldes eine regelrechte Lücke.

Aus Publikationen über indische Granate wurden 627 Daten übernommen. Die Granate stammen vor allem aus südindischen Gesteinskomplexen, den Eastern Ghats, aus dem Bundesstaat Rajasthan sowie dem Himalaya. Im Dreiecksdiagramm Pyrop/Almandin + Spessartin/Grossular (Abb. 10b) zeigt es sich, daß unter den indischen Granaten die Vertreter der Almandin-reichen Varietäten besonders zahlreich sind. Der Schwerpunkt liegt im Bereich mit mehr als 50-% Almandin + Spessartin und 20-% Grossularanteil. Hier sind die Granate zu finden, die typischerweise in den metamorph überprägten Äquivalenten von gängigen Sedimenten und Vulkaniten auftreten. Da die typischen Pyrop-Gesteine in Indien eher selten sind und zudem für die Zielsetzung der eingangs erwähnten Forschungsprogramme eher von zweitrangiger Natur, ist das pyropreiche Diagrammfeld kaum bestückt. Entsprechendes gilt auch für sehr calciumreiche Gesteine und die dazugehörigen Granate.

-- Sri Lanka

Sri Lanka ist mit 223 Datensätzen vertreten, die mit den indischen vergleichbar sind, was ihre Verteilung im Dreiecksdiagramm angeht (Abb. 10c). Pyrop- und grossularreiche Granattypen finden sich eher selten. Im Almandin-betonten Bereich ist anders als bei den indischen Granaten eine deutlichere Konzentration der Punktwolke bei höheren Grossularanteilen ablesbar. Für die eingangs erwähnten geotektonischen Forschungsprogramme war vor allem der zentrale bis südliche Teil der Insel von Interesse, so daß von dort die meisten Analysen publiziert wurden.

Ergebnisse

Um die Daten im Detail miteinander vergleichen zu können, sind binäre Diagramme auf Basis der Elementgehalte besser geeignet als die Dreiecksdiagramme, bei der die Grunddaten über mehrere Rechenschritte umgerechnet werden müssen.

- Die Granatvorkommen Indiens

Unter den 627 indischen Granatdaten stechen mit dem Probenpaar 45/46 und Granat Nr. 262 zwei Vorkommen aus dem Bundesstaat Rajasthan hervor, die in beiden Diagrammen (Abb. 11 c u. d) direkt oder unmittelbar neben dem Hauptfeld der frühmittelalterlichen Granateinlagen liegen. Nr. 262 ist ein Granat, der mit der recht unzulänglichen Fundortbezeichnung »Rajasthan« im Edelsteinhandel bezogen wurde (Wegner et al. 1998). 45 und 46 sind porphyroblastisch ausgebildete Granate, die in metapelitischen Gneisen südwestlich von Udaipur eingebettet sind (Dasgupta et al. 1997). Leider fehlen in der Publikation Angaben zu Größe, Farbe und Reinheit.

Eine weitere Probengruppe (708 bis 713) liegt in beiden Diagrammen in unmittelbarer Nachbarschaft zu der Hauptgruppe. Interessanterweise stammt das Muttergestein (ein gedritführender Paragneis) der Probengruppe 708-713 wie die Granate 45, 46 und 262 ebenfalls aus Rajasthan (Sharma & Roy 1979), genauer gesagt aus Karera im Bhilwara Distrikt. Die Granate sind im Durchschnitt 0,5 bis 0,8 cm groß, leider fehlen Angaben über Farbnuancen und Klarheit etc.

Bei den vier frühmittelalterlichen Einlagen, die nicht zum Hauptfeld gezählt werden können (Sp 1, D 2/4, Mz 1/1 und Mz 1/4), ist die Auswertung dadurch erschwert, daß sie in den Diagrammen nur durch Einzelpunkte und nicht durch Felder repräsentiert werden.

Eindeutig ist die Lage für Sp 1 insofern, als sie immer eine relativ isolierte Lage in den Diagrammen ein-

nimmt, und auch für D 2/4 und Mz 1/1 lassen sich unter den indischen Daten keine Granate finden, die der Zusammensetzung dieser Steine von allen chemischen Komponenten her entsprechen. Ein relativ breites Feld wird durch die Granate 693-700 abgedeckt, in dessen Zentrum sich auf beiden Diagrammen die Einlage Mz 1/4 befindet. Bei dieser Gruppe handelt es sich um pinkfarbene Granate aus der Nähe von Bangalore (Iyer & Kutty 1975), die aus cordieritführenden Gneisen stammen.

– Die Granatvorkommen Sri Lankas

Die 230 in der Datenbank erfaßten Granate aus Gesteinen der Insel Sri Lanka weisen alle höhere Calciumgehalte als das Hauptfeld der frühmittelalterlichen Einlagen auf (Abb. 12 a u. c) und kommen daher nicht als Rohmaterial für das Gros der rheinfränkischen Granate in Frage, auch wenn im Diagramm Mn : Fe vier Datenpunkte auf dem Hauptfeld zu liegen kommen (Abb. 12b). Entsprechendes gilt für die Proben Sp 1 und Mz 1/4 (Abb. 12 d).

Die beiden anderen aus dem Hauptfeld herausfallenden Einlagen D 2/4 und Mz 1/1 werden von mehreren Granaten aus Sri Lanka umgeben, die jedoch zum größeren Teil nicht in allen chemischen Parametern ähnlich sind. Mz 1/1 ähnelt den Probenpaaren mit der Nummer 248/249 (Granat-Sillimanit-Granulite aus dem südwest-sri lankanischen Kataragama Complex aus: Prame 1991), bzw. dem Paar 567/568 (Granulite aus der Gegend um Kandy in Zentral-Sri Lanka aus: Ellis & Hiroi 1997). Die Einlage D 2/4 wird in beiden Diagrammen von Nr. 23 begleitet, die einem Metapelit aus dem Western Highland Complex entstammt (Raase & Schenk 1994).

Ergebnis der mikroskopischen Einschlusßuntersuchung

Bei der Begutachtung von Edelsteinen ist die mikroskopische Beobachtung des Einschlusßbildes ein wesentlicher Schritt. Einschlüsse werden beim Wachstum eines Minerals gebildet. Es kann sich dabei um sogen. Gastkriställchen, Flüssigkeiten oder Gase, oft auch um eine Kombination aus diesen Komponenten handeln. Desgleichen werden charakteristisch geformte Hohlräume, sogenannte »Negativkristalle« beobachtet. Neben der Art der Einschlüsse ist ihre räumliche Verteilung, ihre jeweilige Größe und ihr Mengenanteil für den Fachmann von Bedeutung. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, zerstörungsfrei Fragen nach Echtheit und oft auch nach der Herkunft eines Steins zu beantworten.

In der einschlägigen gemmologischen Fachliteratur finden sich nur recht allgemeine Angaben über die Einschlusßbilder von Granaten, da anders als bei Smaragden, Rubinen oder Saphiren Nachahmungen und Fundort im Handel keine Rolle spielen. Hinzu kommt, daß Granate generell wenig fundortspezifische Einschlüsse aufweisen (s. z. B. Rouse 1986). So kommt der Einschlusßmikroskopie für die vorliegende Untersuchung eine primär unterstützende Funktion zu, wenn es darum geht, die mit anderen Methoden erzielten Befunde zu überprüfen oder zusätzliche Gruppierungs- oder Ausschlusßkriterien zu liefern. Gerade auch bei antiken Granaten, die aus Gründen der Fundobjektgeometrie oder des Erhaltungszustands nicht chemisch untersucht werden können, lassen sich auf diese Weise noch Informationen gewinnen.

Einschlüsse sind meist nicht homogen über den ganzen Kristall verteilt, sondern oft in Grüppchen auf bestimmte Bereiche beschränkt. Außerdem weist natürlich nicht jeder Stein der gleichen Herkunft das exakt gleiche Einschlusßbild auf, so daß man gerade bei diesen dünnen Plättchen nur über einen größeren Umfang an Probenmaterial zu einem schlüssigen Gesamteindruck kommt. Manche der untersuchten Granatplättchen entstammen zufälligerweise gar aus einer Zone des Kristalls, die überhaupt keine Einschlüsse aufweist. Da die meisten Granateinlagen in situ, d. h. noch im Objekt befindlich untersucht werden mußten, ließ sich der Stein nicht von allen Seiten betrachten, was für eine optimale Einschlusßdiagnostik vorteilhaft wäre. Allein aufgrund einschlusßspezifischer Merkmale läßt sich aus oben genannten Gründen das Problem der Rohsteinherkunft für frühmittelalterliche Granateinlagen nicht lösen.

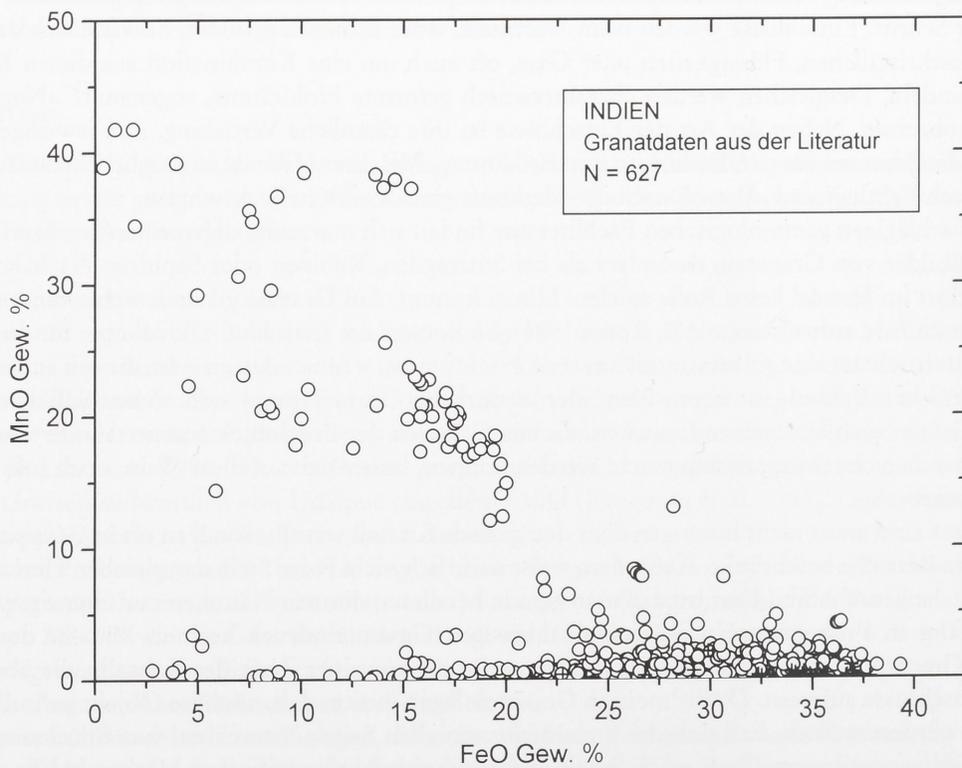
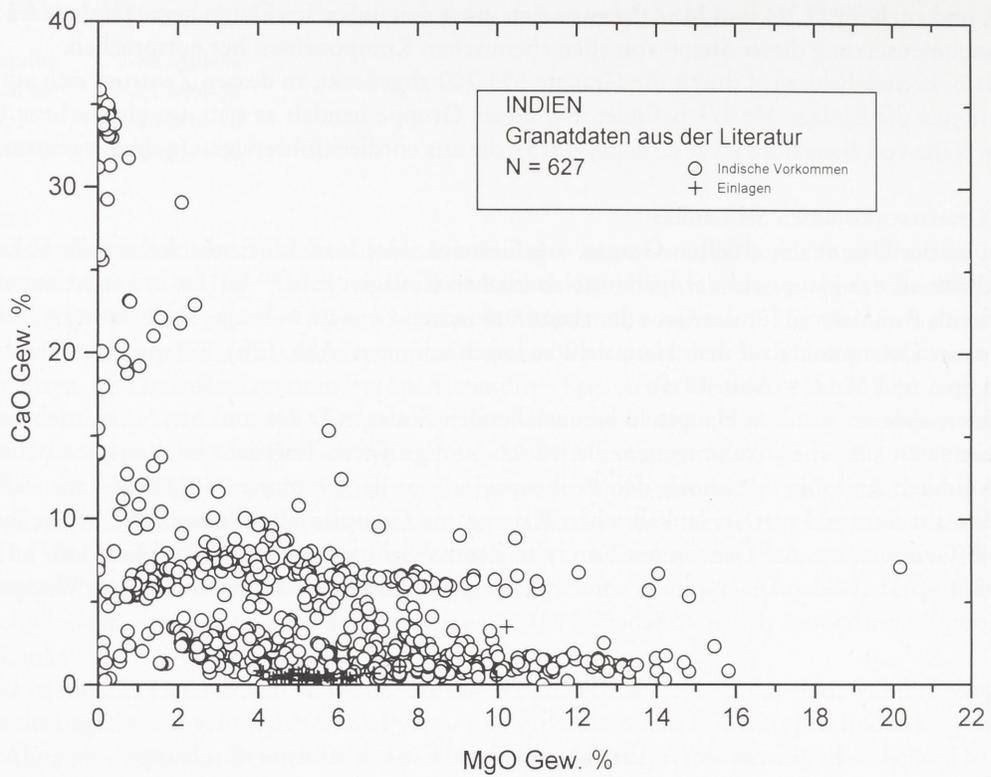


Abb. 11 a. b Gesamtübersicht über die Verteilung der 630 indischen Literaturdaten im System Magnesiumoxid: Calciumoxid (oben), bzw. Eisenoxid: Manganoxid (unten); Gesamt-eisen als FeO, wie in allen folgenden Diagrammen.

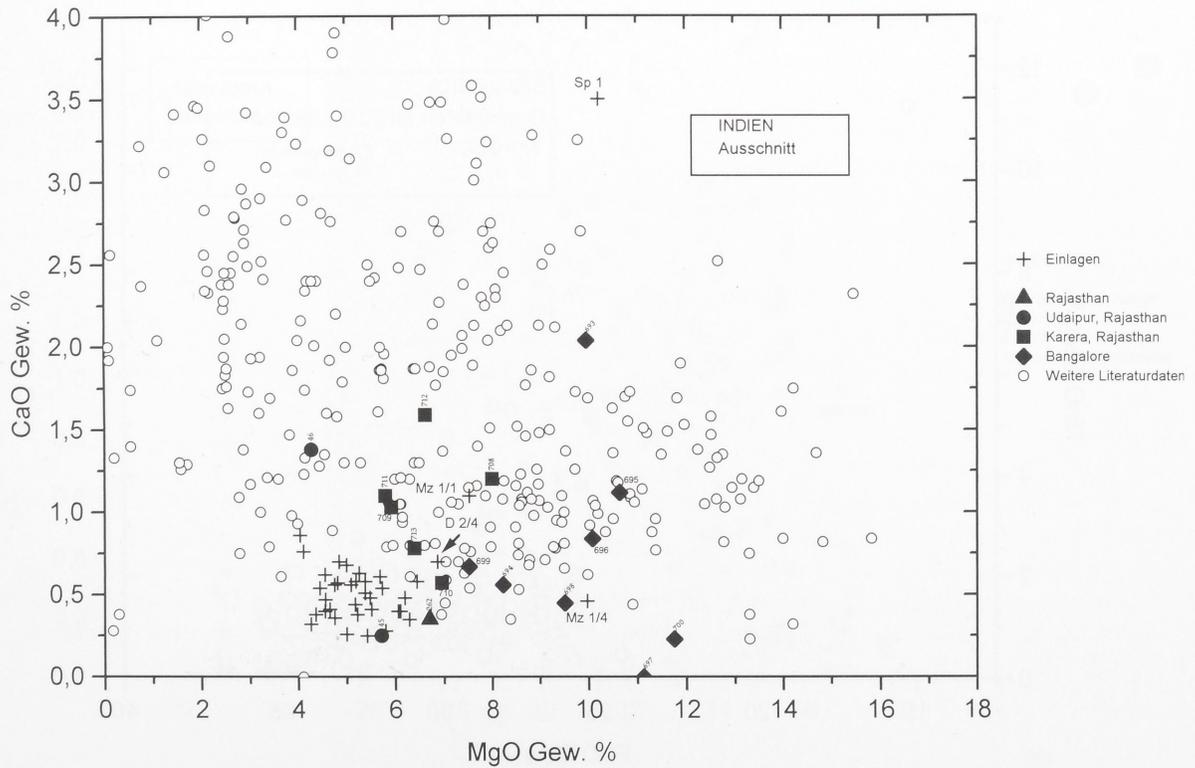
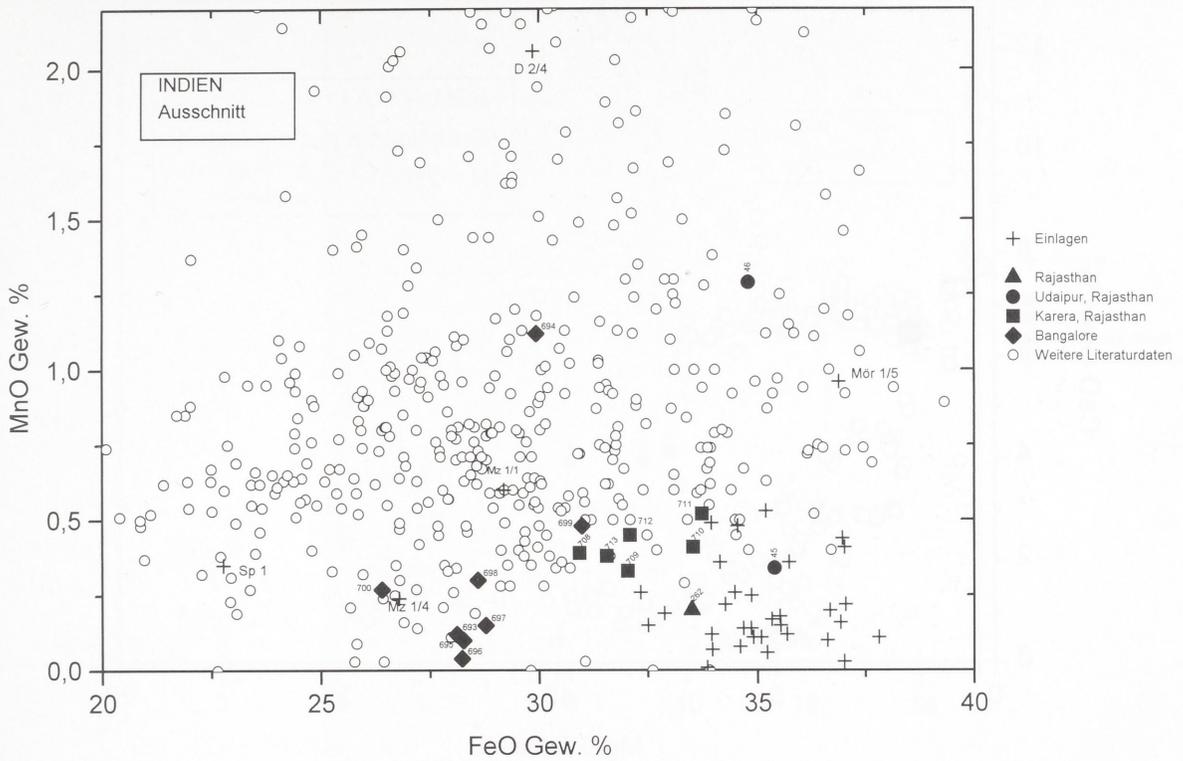


Abb. 11 c. d Ausschnitt aus Abb. 11a und b, bei dem nun auch die frühmittelalterlichen Daten eingetragen sind. Nur wenige Literaturdaten lassen sich mit dem ungewöhnlichen Chemismus der rheinfränkischen Hauptgruppe vergleichen (Details s. Text).

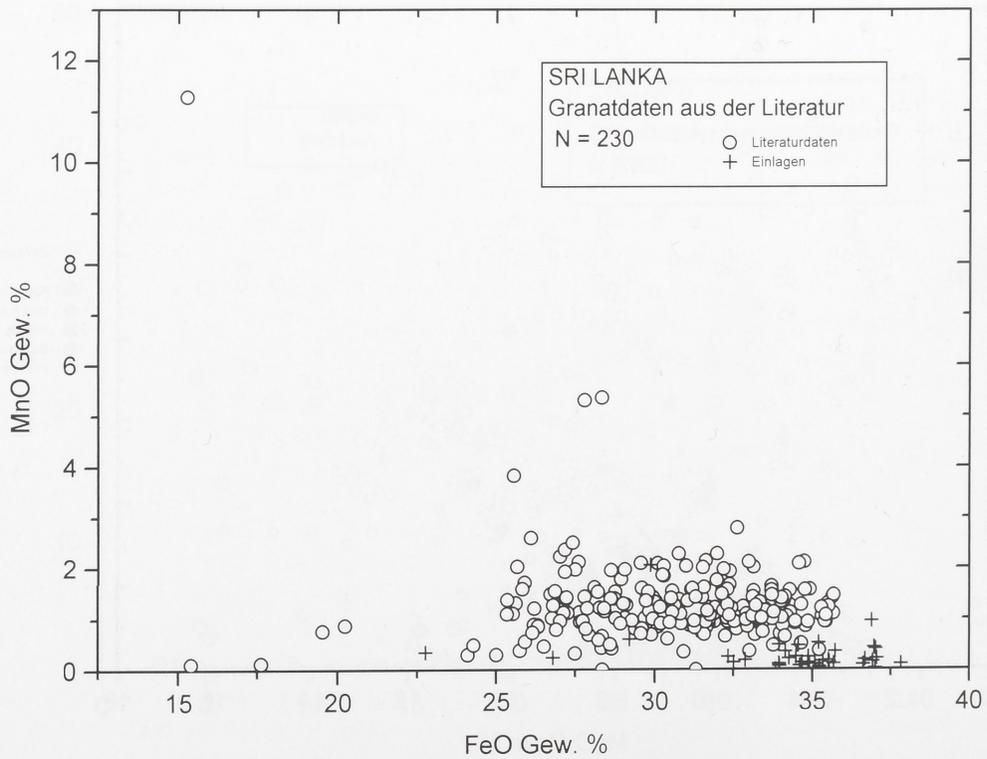
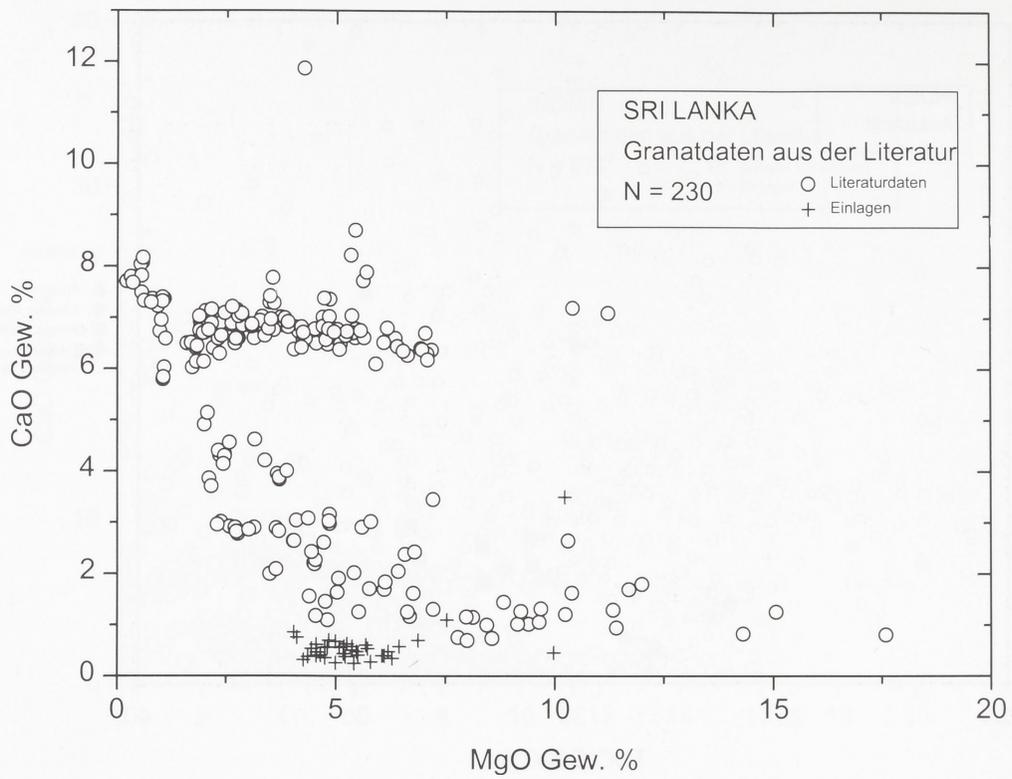


Abb. 12 a. b Gesamtübersicht über die Verteilung der 230 Literaturdaten aus Sri Lanka im System Magnesiumoxid: Calciumoxid (oben), bzw. Eisenoxid: Manganoxid (unten).

Die Einschlusßmikroskopie ist zwar generell eine zerstörungsfreie Methode, jedoch nur für solches Material, das aufgrund seiner Transparenz einen Einblick in das Innere des Steines erlaubt. Die dünnen, beidseitig polierten frühmittelalterlichen Granateinlagen stellen in dieser Hinsicht kein Problem dar, wohl aber die Referenzgranate. Sie sind meist trüb, rissig und zu dick, um ohne Schleifen und Polieren mikroskopisch bearbeitet werden zu können. Je schlechter die Qualität, desto aufwendiger muß das Material präpariert werden. Dieser Aufwand wurde dementsprechend nur bei den Referenzgranaten betrieben, welche in Zusammenhang mit einer konkreten Fragestellung standen. Die frühmittelalterlichen Objekte wurden an einem Binokular der Firma Zeiss Stemi 2000 im Auflicht-Dunkelfeld untersucht. Sie bedurften keinerlei weiteren Präparation, während die untersuchten Referenzgranate zum Teil beidseitig planparallel geschliffen und poliert wurden⁴⁷. Zusätzlich wurde an den Granatplättchen durch die Mikroskopie der Einschlüsse überprüft, ob die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse nicht durch an der Oberfläche angeschnittene Fremdminerale beeinflusst worden sind.

Um den Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht zu sprengen, wird nur ein allgemeiner Überblick über den Einschlusßbestand der frühmittelalterlichen Einlagen gegeben und dieser mit den indischen Steinen aus dem Grenzgebiet von Orissa und Madhya Pradesh verglichen⁴⁸.

Die Einschlüsse der Granateinlagen

Insgesamt weisen die frühmittelalterlichen Granateinlagen ein recht homogenes Bild auf, das eher durch die Abwesenheit als durch das Vorhandensein markanter Einschlüsse charakterisiert wird. Die Einschlüsse sind meist klein und transparent, so daß, nicht zuletzt auch begünstigt durch das Fehlen von Rissen, der makroskopische Transparenzeffekt der gesamten Einlage in aller Regel nicht beeinträchtigt wird. Wir haben es also mit einem Material zu tun, welches den heutigen Kriterien von »Edelsteinqualität« entsprechen würde. 24 von 164 mikroskopisch untersuchten Proben zeigen in dem Vergrößerungsbereich des Binokulars keinerlei Einschlüsse.

An transparenten Mineraleinschlüssen finden sich Zirkone und Monazite mit den typischen Sprengrisen, sowie oft recht große Apatite und auch Quarze. An opaken Mineralen werden nur unregelmäßig geformte Ilmenite (Eisen-Titan-Oxid) beobachtet. Die Natur der festen Mineraleinschlüsse wurde mit dem EDS-REM überprüft, dort, wo sie an der Oberfläche des Steins angeschliffen waren. Mit einem Raman-Mikroskop, welches nur für kurze Zeit zur Verfügung stand, konnten auch tieferliegende Einschlüsse identifiziert werden. Weiterhin finden sich Rutilseide (Titanoxid) und farblose, linealartig gestreckte Minerale, bei denen es sich um Amphibole handeln könnte. Einige spindelig bis prismatisch ausgebildete, ebenfalls farblose Mineraleinschlüsse konnten nicht eindeutig identifiziert werden. Bei den mit dem REM untersuchten Mineraleinschlüssen handelte es sich in keinem Fall um Quarze. Fast alle Einlagen beherbergen Negativkristalle in den verschiedensten Formen: Taschenartige, unregelmäßige Fetzen, rundliche, röhrenförmige etc. . Feinste Negativkristalle ordnen sich als sogenannte »Fahnen« auf oftmals gekrümmt verlaufenden Flächen an.

Das Auftreten der Rutilseide kann als besonders diagnostisch verwertbares Kennzeichen dienen, weil sich dieses Phänomen in aller Regel über weitere Bereiche eines Steins erstreckt und weniger lokal begrenzt ist. Oft besitzen diese Steine auch Ilmenit. An 15 Steinen wurde Rutilseide oder Ilmenit gefunden, drei Steine davon zeigen nur Ilmenit, fünf eine Kombination dieser beiden Titan-Mineralen und sieben nur Rutil. Bemerkenswerterweise befinden sich von diesen 15 Steinen 14 nicht in der Hauptgruppe, sondern am Rand von S1, S2 und S3. Von den sieben Einlagen der Gruppe S3 z.B. weisen gar sechs ein Rutilgitter auf. Die bereits mehrfach erwähnten Einlagen D 2/4, Mz 1/1 bzw. Mz 1/4 und Sp 1 gehören

⁴⁷ Die Anzahl der mikroskopisch untersuchten Granate (164) deckt sich nicht mit der Anzahl der chemisch untersuchten (102), da viele durch ihre vertiefte Lage im Zellenwerk für die Messung an der Röntgenfluoreszenzanlage nicht geeignet waren. Auf der anderen Seite gibt es aber auch einige

Steine mit chemischen Daten, die aus organisatorischen Gründen wiederum nicht mikroskopisch untersucht werden konnten.

⁴⁸ Das vollständige Material zu den Einschlusßuntersuchungen soll an anderer Stelle veröffentlicht werden.

beispielsweise in diese Gruppe⁴⁹. Damit deutet sich eine Variante der Gruppierungsgrenzen an, bei der die randlich gelegenen Proben der Gruppe S1 sich mit der Gruppe S3 verbinden lassen.

Einschlußbeobachtungen an frühmittelalterlichen Einlagen aus der Literatur

Es existieren bisher drei Arbeiten, bei denen die Einschlußmikroskopie an frühmittelalterlichen Granateinlagen eine Rolle spielt. Auf Veranlassung von B. Arrhenius befaßte sich O. Mellis mit den Einschlüssen in Granaten aus skandinavischen Schmuckgegenständen. Die von ihm beschriebenen Einschlüsse decken sich weitgehend mit den hier gemachten Beobachtungen. Auch er setzt die Einschlüsse nicht als Merkmal für einen konkreten Hinweis auf eine bestimmte Lokalität ein, sondern eher um allgemein auf die Art des Ausgangsgesteins zu schließen. Seine Interpretation, daß das Vorkommen von Apatit und Quarz (beides nur mikroskopisch bestimmt!) in einigen Einlagen auf ein pegmatitisches Ausgangsgestein hinweist, ist jedoch petrologisch nicht korrekt. Daß Zirkone ein herkunftsspezifisches Kennzeichen für Ceylongranate sind, wie von Gübelin (1960) ursprünglich behauptet, zweifelt er berechtigterweise an⁵⁰. Eine ähnlich unhaltbare Annahme, daß nämlich ein Gitter aus Rutilnadeln für eine böhmische Herkunft spricht, stellte man für die Einlagen aus der Scheibenfibel von Rosmeer auf (Roosens & Thomas-Goorieckx 1970).

Die dritte Arbeit, die Einschlüsse in antiken Granaten berücksichtigt ist die mineralogische Untersuchung des Rohsteinhortes von Paviken auf Gotland (Löfgren 1973), bei der jedoch nicht immer ganz klar ist, ob es sich bei den beobachteten Mineralen (Ilmenit, Apatit, Hornblende und Glimmer) um interne Einschlüsse oder äußere Anhaftungen handelt. Unklar ist auch, ob es sich bei den dort beschriebenen »strahlenbündeligen Einschliessungen« um Rutilgitter- oder Seide handelt.

Referenzgranate

Obwohl keine systematische Untersuchung der Einschlüsse in allen Referenzgranaten unternommen wurde, sollen doch wenigstens einige sporadischen Beobachtungen berücksichtigt werden. Dazu gehört z.B., daß die Referenzgranate aus dem Simplon-Gebiet dicht mit Quarzeinschlüssen durchzogen sind, was sich auch bei den RFA-Analysen durch hohe Silizium-Werte auswirkt. Die spanischen Granate aus El Hoyazo zeigen wiederum so ungewöhnliche, aber charakteristische Einschlußformationen, daß man ihre Verwendung im frühen Mittelalter sicherlich nicht übersehen könnte⁵¹.

Der Vergleich zwischen den frühmittelalterlichen Einlagen und den laut chemischer Analyse verwandten indischen Referenzgranaten aus dem Grenzgebiet zwischen den Bundesstaaten Orissa und Madhya Pradesh zeigt viele Ähnlichkeiten, wie das Vorhandensein von Zirkon, Apatit und Monazit. Auch deren Ausprägungsform, besonders was die großen in blassen Gelbtönen gefärbten Apatite angeht, findet sich sowohl in den frühmittelalterlichen Einlagen wie in den indischen Referenzgranaten wieder. Fahnen und Rißsysteme gleichen sich, ebenso wie feinste, winzige Nadelchen in beiden Granatgruppen auftreten.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Aufbauend auf frühmittelalterlichen Funden aus dem Siedlungsgebiet der Rheinfranken im heutigen Rheinhessen wurde mit naturwissenschaftlichen Methoden versucht, die Quellen der Granatrohsteine in der Antike zurückzuverfolgen. In einem ersten Schritt wurde geprüft, ob die chemische Zusammen-

⁴⁹ Die alamannischen Einlagen Frb 1-3 konnten nicht mikroskopisch untersucht werden.

⁵⁰ Wie auch Gübelin selbst heute bestätigt, persönl. Mittlg. 1996.

⁵¹ Während die recht breite Randzone dieser Steine transparent und von gleichmäßiger Färbung ist, erscheint der Kern durch eine wattebällchenähnliche Struktur getrübt.

setzung der einzelnen Einlagen unterschiedlich war, während in einem zweiten Schritt die gefundene Granatchemie mit Granaten bekannter geographischer Herkunft verglichen wurde. Die Röntgenfluoreszenzanalytische Voruntersuchung an Einlagen und Referenzgranaten lieferte semiquantitatives Datenmaterial, aufgrunddessen bereits ein Großteil der Referenzvorkommen als Quelle verworfen werden konnte. An den Einlagen, den aussichtsreicheren Kandidaten unter den Referenzgranaten und solchen, die in der einschlägigen Literatur als mögliche Kandidaten diskutiert worden waren, wurden am Rasterelektronenmikroskop Vollanalysen angefertigt. Die Referenzdaten konnten durch eine Literaturrecherche unter Granatanalysen aus Indien und Sri Lanka ausgebaut werden.

Die chemische Zusammensetzung eines Großteils der untersuchten Einlagen war sehr einheitlich und zeigt, daß vornehmlich Material aus einer einzigen Quelle bezogen wurde, vereinzelt ergänzt durch Rohgranate aus wahrscheinlich mindestens zwei weiteren Quellen. Die Verwendung von Material aus verschiedenen Quellen deckt sich mit Beobachtungen an Material anderer Provenienz (Farges 1992 u. 1998; Schüssler 1997; Branstätter & Niedermayr; 1999), wobei es sich abzeichnet, daß dies regional unterschiedlich und/oder werkstattspezifisch war.

Stichprobenartig wurde auch Fundmaterial aus Belgien, Burgund, Spanien und dem alamannischen Raum untersucht. Die belgischen, burgundischen und ein Teil der spanischen Steine lassen sich ebenfalls der Hauptrohsteinquelle der rheinhessischen Objekte zuordnen. Die Daten für die alamannischen Einlagen weisen auf eine der zusätzlichen Granatlagerstätten hin⁵². Interessanterweise sind genau diese Einlagen größer als die des hier untersuchten typisch rheinfränkischen Materials. Auch der große zentrale Stein einer spanischen Gürtelschnalle stammt nicht aus der Hauptquelle, wohl aber die kleinen Randsteine desselben Objekts. Dies deutet auf eine Verbindung zwischen Probengröße und Rohsteinquelle hin, die mit einer erweiterten, gezielt auf Einlagengröße ausgerichteten Probenbasis überprüft werden sollte. Die Verwendung verschiedener Einlagen auf einem Schmuckstück wurde auch von Branstätter & Niedermayr (1999) beobachtet. Die Kombination von Einlagen »rheinfränkischen Typs« mit Material aus einer anderen Quelle auf der spanischen Gürtelschnalle spricht im übrigen gegen die Annahme Rupps (1937), daß die Westgoten ihre Rohgranate aus einer anderen Quelle als die Franken bezogen. Auch hier ist Raum für weitere Untersuchungen. Jener große spanische Stein weist Verwandtschaft zu den Steinen des Wolfsheimer Pectorals auf, das sassanidischen Ursprungs ist, und zu publizierten Daten von Granatperlen und Bruchstücken aus dem Oman und Sri Lanka (Rösch 1997) paßt. Wieder anders scheint der Herkunftsort für nordische Granateinlagen gewesen zu sein, wie der Vergleich mit publizierten Daten (Löfgren 1973) für ein gotländisches Rohsteindepot gezeigt hat und neuere Untersuchungen auf einen Steinbruch bei Slöinge in Schweden hinweisen (Mannerstrand & Lundqvist im Druck). Neben diesem einen spanischen Stein existieren drei weitere Einlagen, die weder aus der gleichen Quelle wie die Hauptgruppe noch wie der spanische Stein stammen, sondern aus ein bis zwei weiteren Quellen.

Die auf Basis der chemischen Daten ermittelten Gruppen (H für die Hauptgruppe, S1 bis S3 für die davon abweichenden »Streugruppen«) werden durch die mikroskopischen Untersuchungen der Einschlüsse weitgehend bestätigt. Manche der Einlagen, welche nicht der Hauptquelle zuzuordnen sind, zeigen ein anderes Spektrum an Einschlüßbildern, so daß sich dadurch eine alternative Gruppierungsmöglichkeit eröffnet, die die randlichen Teile der Gruppe S1 mit den Steinen der Gruppe S3 verbindet. Auch wenn die Einschlüßdiagnostik an einem einzelnen Stein nicht immer die notwendigen Informationen liefert, bietet sich mit dieser Methode eine zerstörungsfreie Untersuchungsmöglichkeit in Fällen an, wo aufgrund der Objektgröße oder des Erhaltungszustands eine chemische Analyse nicht möglich ist.

⁵² Wahrscheinlich verwendeten die Alamannen für die gängigen Einlagen ebenfalls das gleiche Material aus der Hauptquelle, wie die Daten von Schüssler et al. (1997) zeigen. Ob diese und die in der Publikation angesprochenen weiteren

Gruppen von Einlagen mit denen der vorliegenden Arbeit übereinstimmen, läßt sich aufgrund der nur ungefähr angegebenen chemischen Daten lediglich vermuten.

Wie lassen sich nun die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen in Hinblick auf mögliche Rohsteinquellen interpretieren?

Zunächst einmal können viele Vorkommen als Hauptquelle der rheinfränkischen Rohsteine definitiv ausgeschlossen werden. Um an dieser Stelle nur die wichtigsten, bereits in der Literatur diskutierten Möglichkeiten zu nennen, fallen mit Sicherheit die böhmischen Granate aus⁵³, das türkische Alabanda, die alpinen Fundstellen ebenso wie die rumänischen. Auch bei den bayerischen, skandinavischen und russischen Referenzgranaten findet sich kein Gegenstück, das zu den Einlagen aus der fränkischen Hauptquelle passen würde. Für China, Afghanistan, Thailand und Sri Lanka gilt dies ebenso. Doch es existieren auch Vorkommen, welche von der chemischen Zusammensetzung her denen der frühmittelalterlichen Hauptquelle ähneln. Dazu gehören vornehmlich Steine aus dem nördlichen Indien, aus der Gegend um das zentral bis südlich gelegene Hyderabad und Rohgranate, die im Grenzgebiet zwischen den Bundesstaaten Orissa und Madhya Pradesh gefunden werden. Die Daten der letztgenannten Fundorte weichen im Mittelwert geringfügig von den Daten für die frühmittelalterlichen Einlagen ab. Ob dieser Umstand nur der Ausbeutung unterschiedlicher Lager eines Vorkommens zu verdanken ist, oder generell gegen den Fundpunkt als Quelle spricht, ist schwierig abzuwägen, zumal große Ähnlichkeiten der Einschlußbilder bestehen. Eine Recherche unter indischen Literaturdaten bestätigte besonders die nordindischen Steine als mögliche Quelle, denn Granate aus der Gegend um Udaipur in Rajasthan zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Granateinlagen des Hauptfeldes.

Indische Steine aus Rajasthan ohne nähere Fundortangabe lassen sich mit Repräsentanten einer weiteren vermuteten frühmittelalterlichen Rohsteinquelle vergleichen, für die laut der Literaturdatenrecherche allerdings auch verschiedene Vorkommen in Sri Lanka in Frage kämen. Der Datensatz für den dritten, vermutlich im frühen Mittelalter ausgebeuteten Fundort ist zu gering, um gewisse Ähnlichkeiten im Chemismus von Sp 1 zu Referenzsteinen aus Sri Lanka⁵⁴ als gesichertes Indiz zu werten. Auch die Datenbank mit Literaturanalysen aus Sri Lanka half in diesem Falle nicht weiter. Da von den die Streugruppen repräsentierenden Einlagen nur an einzelnen Vertretern Vollanalysen angefertigt wurden, ist die Interpretation entsprechend schwierig und unsicher.

Insgesamt scheint die Annahme Rupps (1937), daß es sich um orientalische Rohsteinquellen gehandelt hat, bestätigt, ebenso wie es sich dementsprechend bei dem in den Berichten des Kosmas Indikopleustes erwähnten alabandenum um Granate auch für den fränkischen Markt gehandelt hat (Roth 1980). Handelsbeziehungen mit dem indischen Subkontinent und der vorgelagerten Insel Ceylon sind auch durch Münzfunde belegt (Wheeler et al. 1946; Weisshaar & Wijeyapala 1993; Weerakkody 1997). Damit stellte im frühen Mittelalter der rote Granat aus dem indischen Raum ein gewisses Prestigeobjekt dar. Der Wert dieses Importguts wird allerdings ein wenig relativiert, zieht man seine Verarbeitung in Form dünner Plättchen in Betracht. Die cloisonierten Granate treten in ihrer Wirkung gegenüber einem singulären, in der Antike üblicherweise mugelig als Cabochon verschliffenem Stein eher zurück. Sie entfalten ihren Eindruck mehr als flächenhaftes, fast mosaikartiges Dekor. Aus der entsprechenden Partie eines Rohgranates läßt sich mit den plättchenförmigen Granateinlagen eine größere Fläche bedecken, bei geringerem Aufwand und Materialverlust gegenüber einem mugeligen Granat. Möglicherweise wurden die Einlagen von indischen Handwerkern aus Abfallmaterial der Cabochonherstellung gewonnen und kamen als vorgefertigte polierte Plättchen nach Europa, deren individuelle Formgebung vor Ort dem jeweiligen Zellenwerk angepaßt werden konnte⁵⁵.

Abschließend ist es angebracht, die angewandte Methodik kritisch zu beleuchten. Es wurden Ergebnisse drei verschiedener Verfahren kombiniert, zweier chemischer Verfahren (Röntgenfluoreszenzanalyse

⁵³ Die wiederum nach Farges (1992 u. 1998) bzw. Schüssler et al. (1997) für die späten Schmuckarbeiten Verwendung fanden.

⁵⁴ Die Daten an alamannischen Fibeln lassen auf eine weiteren

Fundpunkt schließen. Es ist jedoch nicht sicher, ob die Franken das gleiche Rohmaterialspektrum bezogen.

⁵⁵ Eine Arbeit über die Herstellungstechnik der Plättchen ist in Vorbereitung.

und Mikroanalysen am Rasterelektronenmikroskop) und einem optischen. Da das RFA-Gerät vorort zur Verfügung stand, wurden alle Proben sowohl aus den frühmittelalterlichen Objekten wie aus dem Bestand an Referenzgranaten zuerst mit dieser Methode untersucht. Damit konnte bereits die Einheitlichkeit des Materials überprüft und eine recht genaue Vorentscheidung über mögliche und auszuschließende Rohsteinquellen getroffen werden. Die außer Haus durchgeführten Arbeiten am Rasterelektronenmikroskop ermöglichten weitergehende Untersuchungen, die zum einen der methodischen Überprüfung der semiquantitativen RFA - Ergebnisse dienten und zugleich die Möglichkeit erschlossen, auch publizierte Granatchemismen als Datenbasis zu nutzen. Was die Gruppierung der Einlagen und die Aussonderung von Referenzsteinen angeht, reichen die Möglichkeiten der RFA-Analysen aus, gerade wenn es in Zukunft darum geht, frühmittelalterliche Granate einer der Gruppen zuzuordnen. Die Ermittlung der Rohsteinquellen sollte jedoch auf der Basis von Vollanalysen erfolgen. Mit der Einschlußmikroskopie als optischem Verfahren steht einem eine vielseitig anwendbare Ergänzungsmethode zur Verfügung, die allerdings zur Identifizierung von Rohsteinquellen nur eingeschränkt einsetzbar ist. Dreh- und Angelpunkt einer solchen Untersuchung bleibt jedoch immer die Beschaffung von Vergleichsdaten, sei es über direkte oder publizierte Analysen von Granaten. Aber auch ohne Analysen lassen sich von vorneherein schon viele Granate aufgrund ihres Erscheinungsbildes als Kandidaten ausschließen. Damit ist allerdings weniger der Farbton gemeint, der innerhalb eines Vorkommens variabel sein kann und auch an den frühmittelalterlichen Goldschmiedearbeiten aufgrund variabler Plättchendicke und unterschiedlichen Unterfütterungen nicht so einfach zu beurteilen ist. Vielmehr sind es die wirklich andersfarbigen gelben, orangenen und grünen Granate deren Farbgebung auf eine andere Granatspezies hinweist. Als Ausschlußkriterium kann auch die Ausbildungsform der Granatkristalle im Gestein dienen, die bei manchen Typen von Granatvorkommen nur wenige winzige Kristallite oder durch tektonische Beanspruchung völlig zerscherte Formen hervorgebracht hat. Abgesehen von solchen Extremfällen wurde für diese Arbeit bewußt darauf verzichtet, nicht-schleifbares Material auszuschließen. Eine solche Arbeit ist im Prinzip nie abgeschlossen, gerade wenn es darum geht, mit einer ständig weiter auszubauenden Vergleichsdatenbasis auch für »Ausreißer« und Granatobjekte aus anderen historischen Kontexten die Rohsteinquellen zu identifizieren.

LITERATUR

- Arrhenius, B. 1985: Merovingian Garnet Jewellery; Emergence and Social Implications (Stockholm).
- Ball, S. H. 1950: A Roman Book on Precious Stones (Los Angeles).
- Bimson, M., La Niece, S. & Leese, M. 1982: The Characterisation of Mounted Garnets. *Archaeometry* 24, 51-58.
- Brandstätter, F. & Niedermayr, G. 1999: Ein Beitrag zur mineralogischen Charakterisierung von Granaten in Schmuckstücken der Völkerwanderungszeit. *Ber. Dt. Mineral. Ges.; Beih. z. Europ. J. Mineral.*, 11, No. 1, 40.
- Brückmann, U. B. F. 1773: Abhandlung von Edelsteinen (Braunschweig).
- Caley, E. R. & Richards, J. F. C. (1956): Theophrastus: On Stones (Columbia/Ohio).
- Damm, I. G. 1988: Goldschmiedearbeiten der Völkerwanderungszeit aus dem nördlichen Schwarzmeergebiet. *Katalog der Sammlung Diergardt 2. Kölner Jahrb. Vor- u. Frühgesch.* 21, 65-210.
- Dasgupta, S., Guha, D., Sengupta, P., Miura, H. & Ehl, J. 1997: Pressure - Temperature-Fluid Evolutionary History of the Polymetamorphic Sandmata Granulite Complex, Northwestern India. *Prec. Res.* 83, 267-290.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. 1982: *Rock-Forming Minerals. Vol. 1A »Orthosilicates«* (2. Ausg., London u. New York).
- 1992: *An Introduction to the Rock-forming Minerals* (2. Ausg. London.)
- Dürr, St., Dora, O. Ö., Candan, O., Özer, S. & Güngör, T. 1995: Stratigraphy and Tectonics of the Menderes Massif. *Intern. Earth Sci. Colloq. on the Aegean Region. Izmir - Güllük 1995. IESCA-1995 Publication No. 10.* 1-26.

- Eichholz, D. E. 1962: Pliny Natural History, Books XXXVI-XXXVII. Loeb Classical Library Nr. 419 (Cambridge, Massachusetts).
- Ellis, D. J. & Hiroi, Y. 1997: Secondary Siderite-oxide-sulphide and Carbonate-andalusite Assemblages in Coriderite Granulites from Sri Lanka: Post-granulite Facies Fluid Evolution During Uplift. *Contrib. Mineral. Petrol.* 127, 315-335.
- Farges, F. 1992: Minéralogie de la nécropole funéraire de Louvres-en-Parisis (Val d'Osie). In: *L'Ile de France entre Clovis et Hugues Capet; Antiquités Historiques Régionales*, Ministère de la Culture et Direction des Musées de France (Hrsg.), 294-295.
- 1998: Mineralogy of the Louvres Merovingian Garnet Cloisonné Jewelry: Origins of the Gems of the First Kings of France. *Am. Mineral.* 83, 323-330.
- Friess, G. 1980: Edelsteine im Mittelalter (Hildesheim).
- Greiff, S. 1996: Zur Herkunft des Rohsteinmaterials in frühmittelalterlichem Granatschmuck rheinfränkischer Provenienz. *Ber. Dt. Mineral. Ges., Beih. z. Europ. J. Mineralogy* 8 No. 1, 78.
- 1997: Fränkischer Granatschmuck des frühen Mittelalters, Rohsteinquellen und Herstellungstechnik. »Archäometrie und Denkmalpflege« Kurzberichte 1997, 39-41. Tagung der Arbeitskreise »Archäometrie« der GDCh und »Archäometrie und Denkmalpflege« der DMG, Wien 24-26.3.1997.
- Gübelin, E. 1960: Mikroskopische Erkennungsmerkmale der Granate. *Z. d. Dtsch. Ges. Edelsteinkunde* 31, 7-15.
- Hampe, Th. 1899: Goldschmiedearbeiten im Germanischen Museum. *Anzeiger d. Germanischen Nationalmuseums*, 33-46.
- Iyer, G. V. A. & Kutty, T. R. N. 1975: Petrology of Garnetiferous Cordierite Gneisses from the Vicinity of the Closepet Granite. *Ind. J. Earth Sciences* No. 2, 125-141.
- Kutzke, H., Barbier, B. & Greiff, S. 1997: Edelsteinbearbeitung im frühen Mittelalter - Untersuchungen zur kristallographischen Orientierung von Granatplättchen. »Archäometrie und Denkmalpflege« Kurzberichte 1997, 39-41. Tagung der Arbeitskreise »Archäometrie« der GDCh und »Archäometrie und Denkmalpflege« der DMG, Wien 24.-26.3.1997.
- Lipinsky, A. 1975: Oro, Argente, Gemme e Smalti (Florenz).
- 1978: Ein vergessenes Christus-Symbol: Der Karfunkelstein oder Almandin. In: *Atti del 9. Congresso Internazionale di Archeologia Christiana*, Rom, 345-367.
- Löfgren, J. 1973: Die mineralogische Untersuchung der Granaten von Paviken auf Gotland. *Early Medieval Studies* 6, 78-95.
- Lüschen, H. 1968: Die Namen der Steine. Das Mineralreich im Spiegel der Sprache (München).
- Lucas, A. 1962: *Ancient Egyptian Materials and Industries* (London).
- Mannerstrand, M. & Lundqvist, L. im Druck: Garnet Chemistry of the Slöinge excavation, Halland and additional Swedish and Danish Excavations - Comparisons with Garnet Occurring in a rock context. *J. Archaeol. Sci.* (in press).
- Mellis, O. 1963: Mineralogische Untersuchungen an Granaten aus in Schweden gefundenen Schmuckgegenständen der Merowinger- und Karolingerzeit. *Arkiv för Mineralogi och Geologi* 3 Nr. 15, 297-362.
- Metz, R. 1961: Edelsteinschleiferei in Freiburg und im Schwarzwald und deren Rohstoffe (Lahr).
- Pasch, A. 1985: Rekonstruktion einer Goldblechscheibenfibel und Untersuchungen zu den Herstellungstechniken. *Restaurierung und Museumstechnik* 6, 5-22.
- Plenderleith, H. 1956: The Methods Used in the Preservation of the Relics with Notes on their Composition and Structure. In: *Battiscombe, C. F. : The Relics of St. Cuthbert* (Oxford), 531-544.
- Prame, W. K. B. N. 1991: Petrology of the Kataragama Complex, Sri Lanka: Evidence for High P, T Granulite Facies Metamorphism and Subsequent isobaric Cooling. In: *Kröner, A. : The Crystalline Crust of Sri Lanka Pt. 1* (Colombo u. Mainz), 200-224.
- Raase, P. & Schenk, V. 1994: Petrology of Granulite-facies Metapelites of the Highland Complex, Sri Lanka: Implications for the Metamorphic Zonation and the P-T Path. *Prec. Res.* 66, 265-294.
- Reban, J. 1985: Bohemian Garnets. *Lapid. J.* 35, 18-24.
- Rösch, C., Hock, R., Schüssler, U., Yule, P. & Hannibal, A. 1997: Electron Microprobe Analysis and X-ray Diffraction Methods in Archaeometry: Investigations on Ancient Beads from the Sultanate of Oman and from Sri Lanka. *Eur. J. Mineral.* 9, 763-783.
- Roosens, H. & Thomas-Goorieckx, D. 1970: Die Merowingische Goldscheibenfibel von Rosmeer. *Archaeologica Belgica*, 123, 4-18.
- Roth, H. 1979: Der polychrome Edelsteinstil. In: *Roth, H. (Hrsg.), Kunst der Völkerwanderungszeit. Propyläen Kunstgeschichte Supplementband IV* (Frankfurt a. Main), 78-83.
- 1980: Almandinhandel und -verarbeitung im Bereich des Mittelmeeres. *Allgemeine und Vergleichende Archäologie - Beiträge*, 2, 309-335.
- Rouse, J. D. 1986. *Garnet* (London).
- Rupp, H. 1937: Die Herkunft der Zelleinlage und die Almandinscheibenfibeln im Rheinland. *Rheinische Forschungen zur Vorgeschichte* 2 (Dissertation Bonn).

- Ryan, C. W. 1957: A Guide to the Known Minerals of Turkey (Ankara).
- Salin, E. 1957: La Civilisation Mérovingienne. 3ème Partie: Les Techniques (Paris).
- Schüssler, U., Quast, D., Wolf, R. & Rösch, C. 1997: Mikrosondenanalytische Untersuchungen an Granaten alamanischer Goldschmiedearbeiten des 5. bis 7. Jahrhunderts. Ber. Dt. Mineral. Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral. 9, 320.
- Sharma, R. S. & Roy, A. K. 1979: On the Polymineralic Pargneisses from Karera District, Bhilwara, Rajasthan. I. Petrography and Mineralogy. Ind. J. Earth Sciences 6, 67-81.
- Weerakkody, D. P. M. 1997: Taprobanê. Ancient Sri Lanka as known to Greeks and Romans (Turnhout).
- aus'm Weerth, E. 1882: Rote Edelsteine an fränkischen Schmucksachen. Bonner Jahrb. 72, 186.
- Weisshaar, H.-J. & Wijeyapala, W. 1993: Ancient Ruhuna (Sri Lanka). The Tissamaharama Project: Excavations at Akurugoda 1992-1993. Allgem. Vergl. Arch. - Beitr. 13, 127- 166.
- Wegner, R., Ramos de Brito, A., Karfunkel, J., Henn, U. & Lind, Th. 1998: Granate aus der Umgebung von Valéria/Tocantins, Brasilien. Gemmologie 47, 147-152.
- Wheeler, R. E. M., Ghosh, A. & Deva, K. 1946: Arikamedu: an Indo - Roman Trading-station on the East Coast of India. Ancient India 2, 17-124.

DANKSAGUNG

Viele Kollegen an Universitätsinstituten, Landesämtern und Museen, aber auch aus dem Kreise der Privatsammler und Mineralienfreunde, haben mich mit Untersuchungsmaterial, Literaturhinweisen und allerlei Hilfestellungen bedacht. Ohne ihre Mithilfe wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ich bedanke mich bei Dr. L. Ackermann, FEE Idar-Oberstein, Dr. J. Arnoth, Naturhistorisches Museum Basel, Dipl.-Min. B. Becker, Firma Philipp Becker & CO., Idar-Oberstein, Dr. Mavis Bimson, British Museum, Prof. Dr. Ö. Dora, Universität Izmir-Bornova, Prof. Dr. St. Dürr, Universität Mainz, Dr. G. Endlicher, Staatl. Forschungsinstitut f. Mineralogie Regensburg, Dipl. Geol. R. Fernando, Johannes-Gutenberg Universität, Mainz, Dipl.-Geol. C. Fischer, Universität Potsdam, Herrn Folz, Firma Siemens, Herrn Frühauf, Firma Granat-Roth, Idar-Oberstein, Herrn Max Glas, Publizist, Starnbeg, Prof. Dr. Ghiurca, Cluj-Napoca, Prof. Dr. E. Gübelin, Luzern, Prof. Dr. N. Gudea, Universität Cluj-Napoca, Dipl.-Min. M. Heid, Mainz, Dipl.-Biol. P. Heil, Ministerium f. Umwelt Rheinland-Pfalz, Dr. R. Hochleitner, Mineralogische Staatssammlung, München, Dr. D. Holstam, Naturhistoriska Riksmuseet, Stockholm, Dr. A. Hösch, TU Berlin, Prof. Dr. G. Kurat, Naturhistorisches Museum Wien, Dipl.-Chem. H. Kutzke, Universität Bonn, Firma Lepold & Schramm, Mainz, Dr. V. de Michele, Museo Civico di Storia Naturale, Milano, Thomas Müller, Marktleuthen, Dr. Alessandro Naso, Rom, Dr. G. Niedermayr, Naturhistorisches Museum Wien, Dr. J. Nogués i Carulla, Universität Barcelona, Dr. J. Panjekar, Gemmological Institute of India, Bombay, Dr. B. Pinsker, Hessisches Landesmuseum Wiesbaden, Dr. J. C. Praz, Musée Cantonal d'Histoire Naturelle, Sion, Dr. G. Raade, Mineralogisk-Geologisk Museum Oslo, Dr. J. M. Rabold, Oberfränkisches Erdgeschichtliches Museum Bayreuth, Dr. T. Ridkosal, OMCR Turnov, Dr. Vera Saldova, Archäol. Inst. d. Akademie d. Wissenschaften, Prag, Dr. J. Schlüter, Mineralog. Museum d. Universität Hamburg, Priv.-Doz. Dr. G. Schneider, Freie Universität Berlin, Dr. D. Schwarz, Labor Gübelin, Luzern, Prof. Seclaman, Bukarest, Dr. C. Strutinski, Universität Cluj-Napoca, Dr. Lena Tormanterä, Nationalmuseum Helsinki, Dr. Marion Weber, University of Leicester.

Ich konnte jederzeit die gesamte gemmologische Ausrüstung im Institut für Edelsteinforschung Idar-Oberstein an der Johannes-Gutenberg Universität Mainz nutzen. Mein herzlicher Dank dafür an Prof. Dr. W. Hofmeister, Dr. T. Häger und Frau Dipl.-Min. B. Becker.

Das Forschungsinstitut für mineralische und metallische Werkstoffe FEE in Idar-Oberstein ermöglichte die Vollanalysen am REM, wofür ich Dr. L. Ackermann und K. Schoder danken möchte.

Mein besonderer Dank gilt dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz, das die Untersuchungen durch ein Forschungsstipendium finanzierte, aber auch den Mitarbeitern des Hauses, allen voran Herrn Dipl.-Chem. D. Ankner und der Goldschmiedemeisterin Frau Maiken Fecht.