

15. Marmore des Mausoleums

15.1 Einleitung*

Im Zuge der archäologischen Untersuchungen des Mausoleums von Belevi während der letzten Jahre¹⁷³⁸ erfolgte auch eine umfangreiche Beprobung der verwendeten Marmore mit dem Ziel, durch die Anwendung verschiedener petrografischer und geochemischer Methoden die Herkunft der verwendeten Gesteine festzustellen. Weiters wurden die wichtigsten Steinbrüche mit antiken Abbauspuren der näheren Umgebung des Mausoleums zu Vergleichszwecken beprobt (Textabb. 13).

Beim Bau des Mausoleums kamen fast ausschließlich weiße Marmore zum Einsatz, die mit freiem Auge nicht oder nur sehr schwer zu unterscheiden sind. Die bekannten ephesischen Steinbrüche liegen im Umfeld der Ortschaft Belevi und produzierten im Wesentlichen weiße Marmore und im Bereich von Hasançavuşlar einen weißen Marmor mit schwarzen Sprenkeln (Greco Scritto).

Da bei historischen und antiken Objekten die Quellenlage bezüglich der Herkunft der beim Bau verwendeten Materialien meist sehr dürftig ist, versucht man nun schon seit über 100 Jahren mittels naturwissenschaftlicher Methoden die Provenienz der verwendeten Baustoffe festzustellen. Auf Grund der großen Bedeutung des Marmors besonders in der griechischen Architektur und Bildhauerkunst wurden die ersten diesbezüglichen Arbeiten an griechischen und auch an römischen Marmorobjekten zuerst mit einfachen mikroskopischen Methoden durchgeführt¹⁷³⁹. Erst relativ spät erfolgte der Einsatz isotopengeochemischer Methoden, die sich in der Folge zu einer Standardmethode bei der Provenienzanalyse weißer Marmore entwickelte¹⁷⁴⁰. Weitere geochemische Methoden wie die Analyse der Haupt- und Spurenelemente einschließlich der ‚Seltenen Erden‘ wurden in den letzten Jahrzehnten ebenfalls zur Herkunftsanalyse von weißen Marmoren herangezogen. Über die wesentlichen Arbeiten auf diesem Gebiet, die von den ephesischen bzw. kleinasiatischen Marmoren zurzeit vorliegen, wird im Kapitel „Die Geochemischen Untersuchungen“ berichtet. Die meisten Autoren erwähnen allerdings, dass eine Methode alleine in den meisten Fällen keinen eindeutigen Nachweis der Herkunft liefert und daher mehrere Methoden kombiniert

werden müssen. Die auf diese Weise anfallenden, meist sehr großen Datenmengen bedingen immer eine statistische Auswertung¹⁷⁴¹.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ebenfalls eine Kombination verschiedener geochemischer Methoden zur Herkunftsanalyse der Marmore herangezogen. Neben der chemischen Gesamtgesteinsanalyse wurde die Analyse der stabilen Isotope der Karbonate (C- und O-Isotopie) angewendet. Zusätzlich zu den oben genannten Untersuchungen wurde die Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse der Marmore zu ihrer Charakterisierung verwendet¹⁷⁴². Hier werden die so genannten Flüssigkeitseinschlüsse – das sind mikroskopisch kleine, mit Gas und Flüssigkeit gefüllte Einschlüsse, die in allen Marmoren vorkommen – mechanisch extrahiert und mittels Ionenchromatographie auf ihre chemischen Bestandteile untersucht¹⁷⁴³.

15.2 Petrografische Charakteristik der unterschiedlichen Marmortypen des Mausoleums

Schon bei der Probennahme wurden die Marmore sowohl entsprechend ihrer Funktion als auch ihrer makroskopischen petrografischen Beurteilung in verschiedene Gruppen eingeteilt. Die zwei quantitativ wichtigsten Typen von Marmoren, die man am Mausoleum findet, sind die Marmore der Krepis (Stufenunterbau des Gebäudes) und der Schmuckmarmor an den Außenseiten. Diese beiden Typen und auch die im Zuge der Grabungen gefundenen Skulpturen wurden einer umfangreichen chemischen Analyse unterzogen und werden in der Folge näher beschrieben. Es ist bemerkenswert, dass die beiden für den Bau verwendeten Marmortypen entsprechend ihrer Verwendung am Mausoleum strikt getrennt sind. So konnte nur ein einziger Marmorquader aus der obersten Stufe der Stufenbasis dem Marmortyp des Oberbaues zugeordnet werden.

Von einzelnen Architekturteilen und der kleinen Probengruppe der Dachziegel liegen zu wenige Proben vor, sodass in der Folge auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet wird.

* Ich danke dem damaligen Leiter des Österreichischen Archäologischen Institutes, Herrn F. KRINZINGER, und Herrn P. RUGGENDORFER vom Institut für Kulturgeschichte der Antike der ÖAW für die Ermöglichung der Probennahme und die Unterstützung bei den Feldarbeiten.

¹⁷³⁸ s. die allgemeinen Informationen zum Projekt.

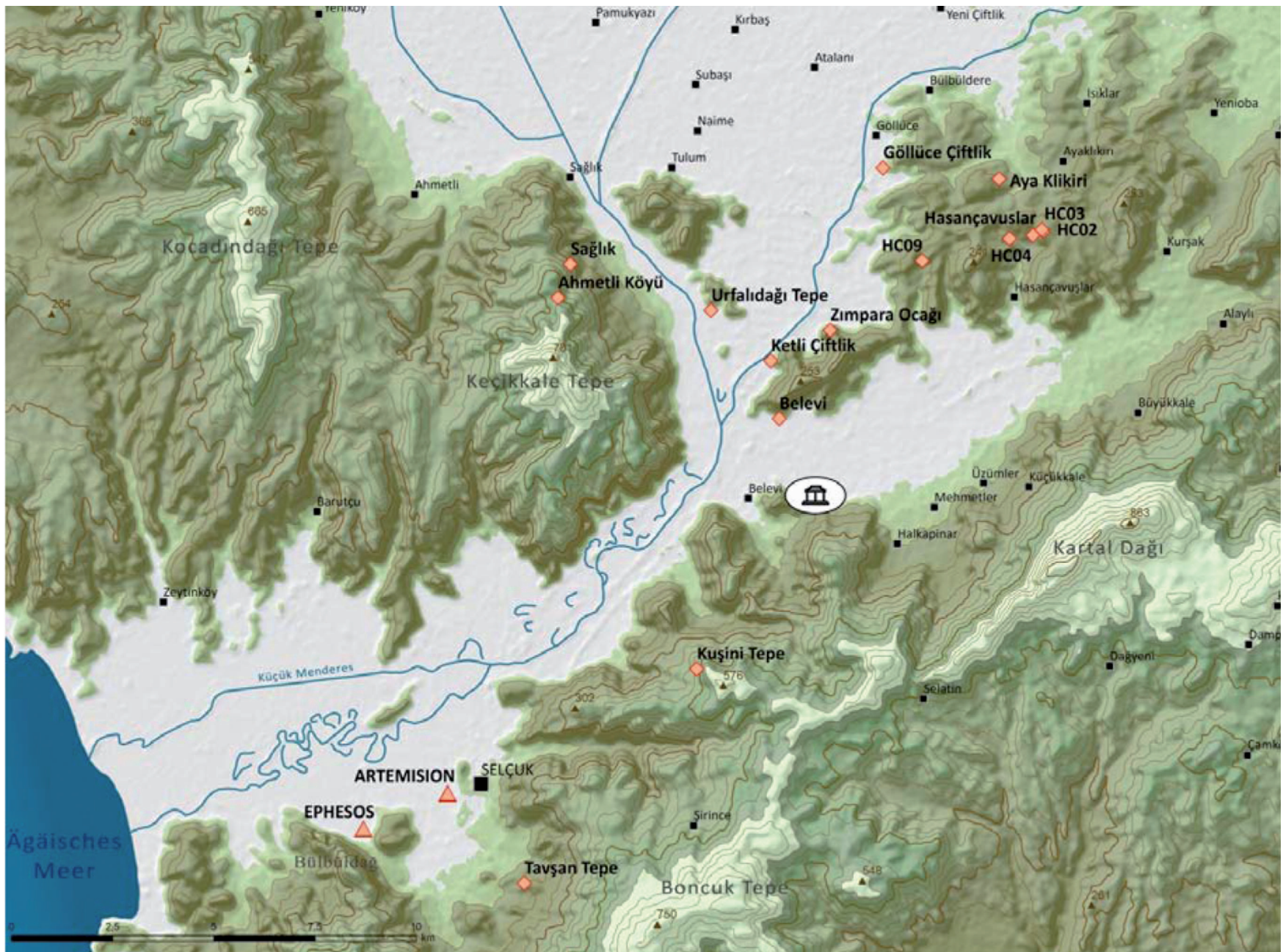
¹⁷³⁹ LEPSIUS führte die ersten umfangreichen petrografischen Studien an klassischen Marmoren mittels petrografischer Methoden durch, LEPSIUS 1891, 1–135.

¹⁷⁴⁰ Die erste richtungweisende Arbeit auf diesem Gebiet stammt von CRAIG – CRAIG 1972, 401–403.

¹⁷⁴¹ In der Regel gelangt hier eine multivariate Statistik zum Einsatz, deren Aussagekraft natürlich sehr von der Verfügbarkeit von entsprechenden Datenbanken abhängt, mit denen die analysierten Probensätze verglichen werden können.

¹⁷⁴² PROCHASKA – GRILLO 2010, 59–82.

¹⁷⁴³ Diese Methode wird in der Lagerstättenkunde zur Charakterisierung mineralisierender Erzlösungen routinemäßig verwendet – vgl. PROCHASKA 1999, 175–183.



Textabb. 13: Die Lage der Steinbrüche von Ephesos und des Mausoleums von Belevi

Die Krepis (Typ I)

Zu diesem Typ von weißem Marmor werden die drei unteren Stufen des Mausoleums und auch die Bodenplatten der Grabkammer gezählt. Das über den Stufen liegende Fußprofil gehört zum unten beschriebenen Marmortyp II der aufgehenden Architektur. Es handelt sich beim Marmortyp I um einen weißen, feinkörnigen Kalzitmarmor mit untergeordneter dolomitischer Beteiligung, der meist eine leichte Schieferung aufweist (Textabb. 14). Die maximale Korngröße der Kalzitkristalle liegt im Bereich von 1 bis 1,5 mm. An schieferungsparallelen Bruchflächen (z. B. an den Bodenplatten in der Grabkammer) sind Glimmerbeimengungen im Marmor zu erkennen. Dieser Marmortyp zeigt eine leichte gelbliche Anwitterung, die durch die höheren Eisengehalte bedingt ist. Ein charakteristisches mikroskopisches Merkmal dieses Typs sind schieferungsparallele Lagen von feinkörnigen, ca. 0,2 mm großen, rundlichen Dolomitkristallen. Die unmittelbare Umgebung dieser feinkörnigen, dolomitisierten Bereiche ist im Mikroskop durch ein gehäuftes Auftreten von Flüssigkeitseinschlüssen gekennzeichnet. Aufgrund der leichten Schieferung, der silikatischen Verunreinigung und der gelblichen Anwitterung ist dieser Marmortyp als

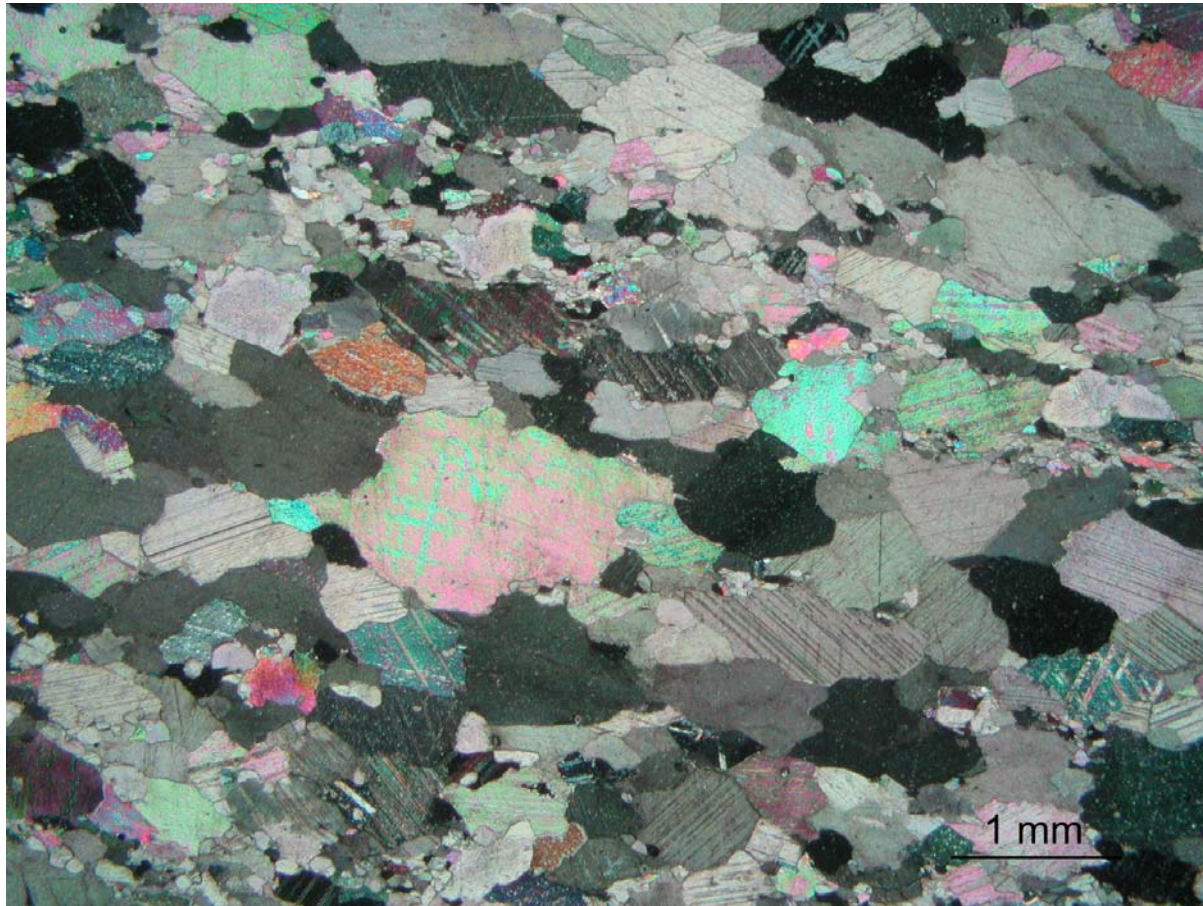
qualitativ nicht so hochwertig einzustufen wie der Schmuckmarmor des Aufbaues des Mausoleums.

Die äußeren Wände, sichtige Seiten, Profile, Säulen etc. (Typ II)

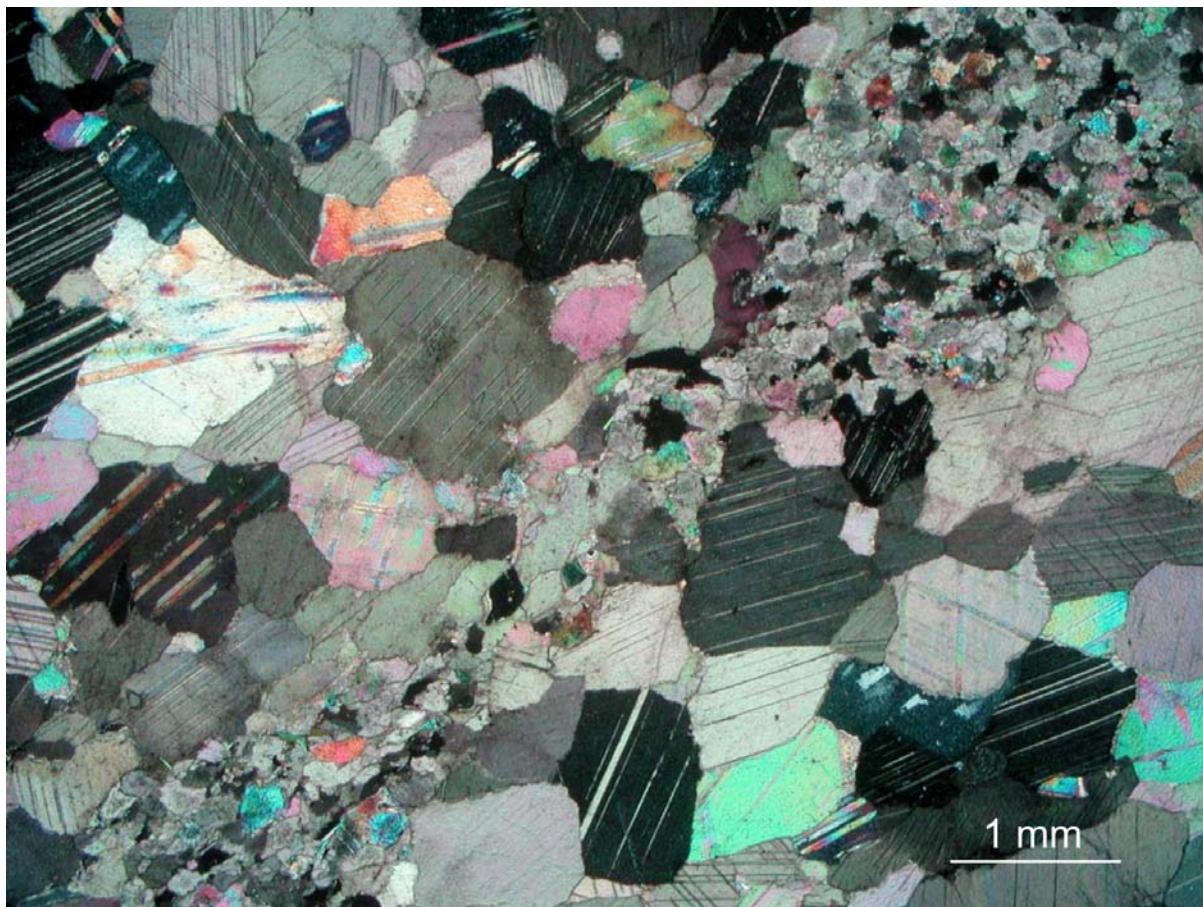
Diese Probengruppe beinhaltet die Außenseiten des verkleideten Sockels des Mausoleums und die aufgehende Architektur des Obergeschosses, wie die Säulen und die Gebälkblöcke. Es handelt sich um einen mittel- bis grobkörnigen Marmor mit einer maximalen Korngröße von ca. 2,5 mm. Dieser Marmortyp ist üblicherweise sehr weiß und weist nur gelegentlich hellgraue Schlieren auf. Unter dem Mikroskop zeigt sich, dass diese Schlieren Bereiche darstellen, die von „nestartigen“ Aggregaten von feinkörnigen Dolomitkristallen gebildet werden (Textabb. 15). Auch hier sind die dolomitischen Bereiche von einer großen Dichte von Flüssigkeitseinschlüssen geprägt, was möglicherweise die Ursache der makroskopisch erkennbaren grauen Schlieren ist (Textabb. 16).

Mit freiem Auge ist dieser Marmor der aufgehenden Architektur vom Typ der Stufenbasis eventuell durch die dunkelgraue Anwitterung und durch die gröbere Korngröße zu unterscheiden.

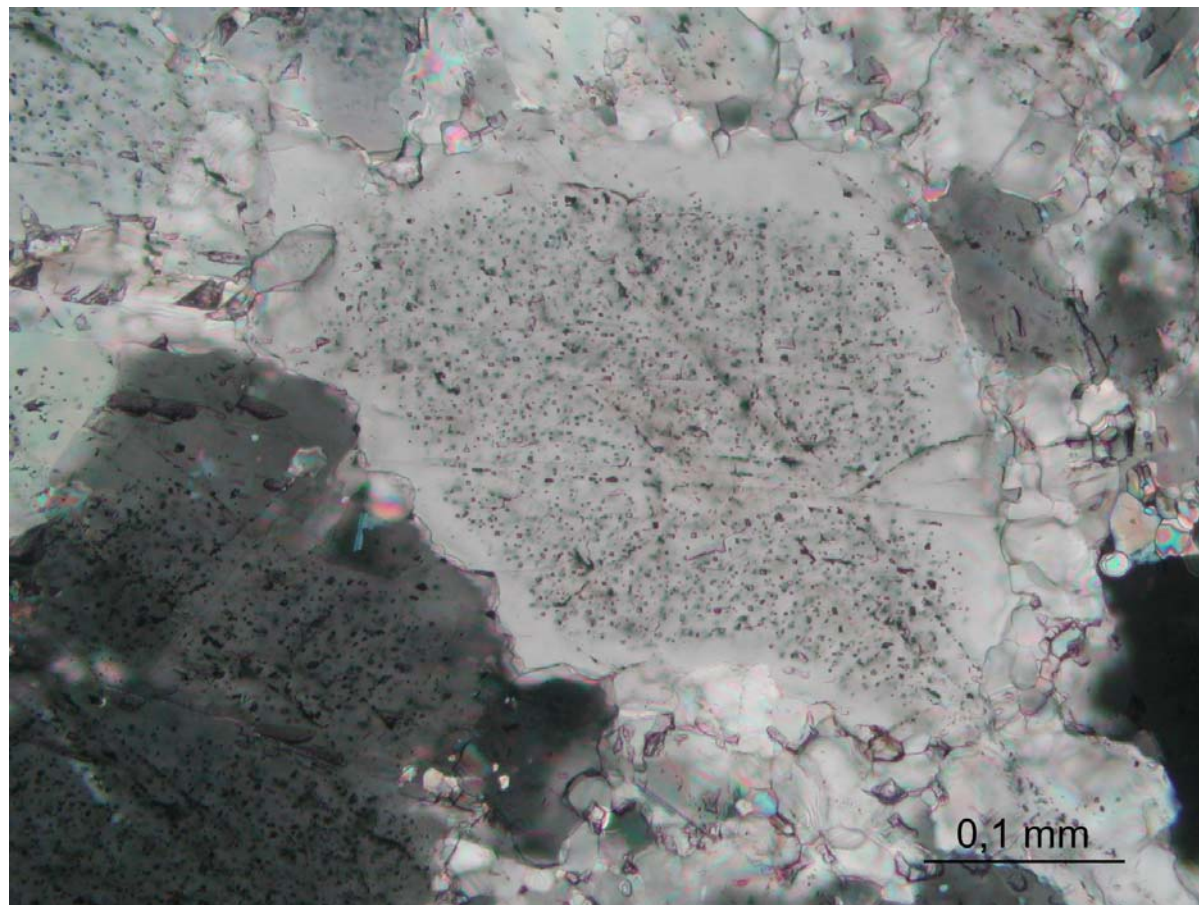
15. MARMORE DES MAUSOLEUMS



Textabb. 14: Mikrophoto (x Polarisatoren) des Marmortyps I der Krepis und der Bodenplatten des Mausoleums. Der Marmor zeichnet sich durch eine leichte Schieferung aus.



Textabb. 15: Mikrophoto (x Polarisatoren) des Marmortyps II der aufgehenden Architektur des Mausoleums. Charakteristisch für diesen Marmor sind Lagen bzw. Linsen von feinkörnigem Dolomit.



Textabb. 16: Mikrophoto (// Polarisatoren) eines Dolomitkristalls vom Marmortyp II der aufgehenden Architektur des Mausoleums. Bei entsprechend starker Vergrößerung sind deutlich die Flüssigkeitseinschlüsse zu erkennen.

Das Auftreten der charakteristischen feinkörnigen Dolomitaggregate kennzeichnet beide Marmortypen und belegt eine gewisse Ähnlichkeit dieser Marmore. Der höhere Weißgrad und die Kompaktheit, d. h. die fehlende Schieferung des Marmors vom Oberbau des Mausoleums, belegen aber eindeutig die bessere Qualität dieses Typs.

Die Skulpturen

Im Zuge dieser Untersuchungen konnten 17 Artefakte, die zur Ausstattung bzw. zum Figurenschmuck des Mausoleums gehörten, untersucht werden. Weiters konnte der Sarkophag (Kasten und Deckel), der im Museum von Selçuk ausgestellt ist, beprobt werden¹⁷⁴⁴. Leider war bis auf eine Ausnahme die Größe dieser Proben nicht ausreichend, um ein mikroskopisches Präparat anzufertigen. Daher können auch keine Angaben zum Gefüge, den genauen Korngrößen und eventuell auftretenden akzessorischen Gemengteilen gemacht werden. Es war auch nicht möglich, eine makroskopische Unterscheidung in einzelne Gruppen zu treffen.

Beim Marmor der beprobten Skulpturen handelt es sich meist um mittel- bis grobkörnige Typen. Der Marmor ist reinweiß mit Ausnahme eines Brustfragmentes eines Löwengreifs, das aus hellgrauem (leicht bläulichem) Marmor besteht.

15.3 Marmore der Steinbrüche in der Umgebung des Mausoleums

Aus geologischer Sicht ist die Region um Ephesos dem oberen Bereich des Menderes Massivs bzw. dem Attisch Kykladischen Komplex zuzuordnen¹⁷⁴⁵. Marmorlagen von unterschiedlicher Mächtigkeit treten in hochmetamorphen Metapeliten auf. In höherer tektonostratigrafischer Position sind im Bereich von Ephesos auch noch Deckenreste der nicht- oder geringmetamorphen lykischen Decken zu finden. Die Kalke der Siebenschläfergrotte bei Ephesos gehören möglicherweise zu diesen Serien.

Zahlreiche Steinbrüche aus dem Bereich von Ephesos wurden im Rahmen dieser Arbeit im Detail beprobt und untersucht, um eventuelle Entsprechungen für die beim Mausoleum verwendeten Marmore zu finden. Die Position der jeweiligen Brüche ist in Textabb. 13 wiedergegeben.

Ein ähnlicher, weißer, mittel- bis grobkörniger Marmor ist in den Steinbrüchen von Heraklea zu finden, die im 3. und 4. vorchristlichen Jahrhundert für ganz Kleinasien große wirtschaftliche Bedeutung hatten. Wegen der großen petrografischen und chemischen Ähnlichkeit wurden diese Marmore zu vergleichenden Untersuchungen herangezogen. Die Marmore der Region um Ephesos werden allgemein in zwei Hauptgruppen (Ephesos I und Ephesos II) unterteilt. Weiters wurden in den letzten Jahren einige antike Abbauplätze und Steinbrüche entdeckt, die nicht oder nur teilweise diesen beiden Hauptgruppen zuzuordnen sind¹⁷⁴⁶.

¹⁷⁴⁴ Für das freundliche Entgegenkommen und die Erlaubnis zur Beprobung bedanken wir uns sehr herzlich bei der Museumsleitung.

¹⁷⁴⁵ Beispiele für neuere geologische Bearbeitungen dieses Gebietes sind die Arbeiten von GÜNGÖR – ERDOĞAN 2002, 386–397 und von OKAY 2001, 709–727.

¹⁷⁴⁶ YAVUZ U. A. 2011, 215–240 geben einen detaillierten Überblick zu den Marmorbrüchen in der Umgebung von Ephesos einschließlich bislang unbekannter Abbaustätten.

Ephesos I

Der Steinbruch Ketli Çiftliği ist bei weitem der größte der untersuchten Steinbrüche. Die Marmore hier sind durch ein Gefüge von etwa gleich großen Kalziten (maximale Korngröße ist ca. 2,5 mm) charakterisiert (Textabb. 17). Die Korngrenzen sind relativ stark verzahnt, die Zwillingslamellen sind nicht deformiert und es ist auch keine ausgeprägte Schieferung zu erkennen. Auffallend ist, dass die Kalzitkristalle im Mikroskop leicht getrübt sind, was auf die große Dichte von Flüssigkeitseinschlüssen in den Kristallen zurückzuführen ist. Dieser hohe Anteil an extrahierbaren Flüssigkeitseinschlüssen macht sich auch bei der Analyse dieser Fluid-einschlüsse bemerkbar und steht im deutlichen Gegensatz zu den Proben von Belevi und Kuşini (siehe Kapitel „Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse“). Wie bei der guten Marmorqualität vom Mausoleum (Typ II) sind auch hier nest- oder zeilenartige, feinkörnige Dolomitaggregate zu erkennen.

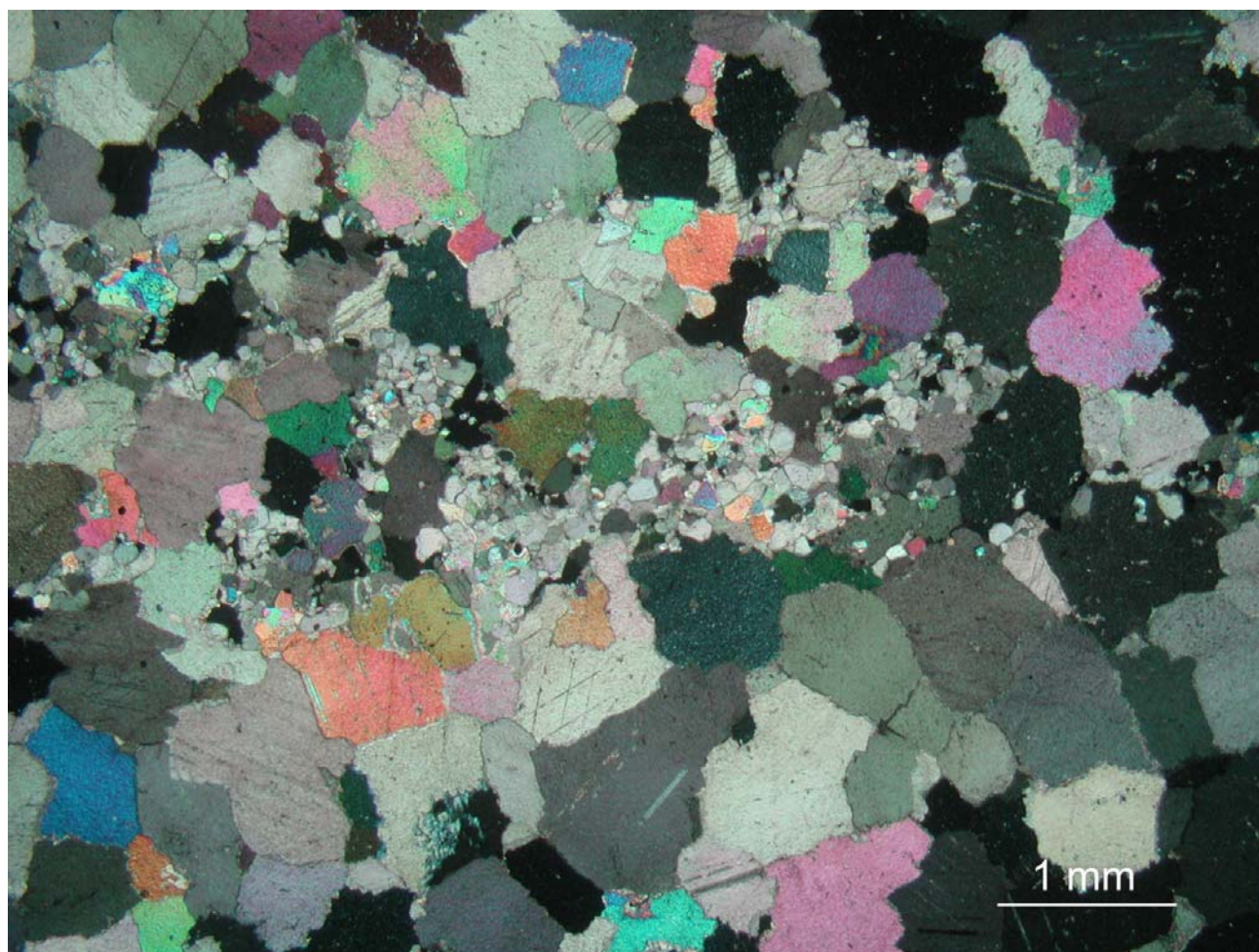
Eine Reihe von Steinbrüchen bei der Ortschaft Hasançavuşlar im Nordosten von Belevi produzierten ebenfalls beträchtliche Mengen von weißen Marmoren. Diese sind in ihren chemischen und petrographischen Charakteristika den oben beschriebenen Marmoren von Ketli Çiftliği sehr ähnlich und können von diesen nicht unterschieden werden. Weiters gibt es in diesem Bereich Stein-

brüche, die große Mengen eines charakteristischen, weißen Marmors mit schwarzen Sprenkeln produzierten, der als „Greco Scritto“ bezeichnet wird. Dieser Marmortyp spielte beim Bau des Mausoleums von Belevi keine Rolle.

Der Steinbruch Urfalidağı-Tepesi wird von CRAMER¹⁷⁴⁷ als Aytekin Ketli Çiftliği beschrieben. Es liegt hier offensichtlich eine Verwechslung mit dem in dieser Arbeit beschriebenen Steinbruch Ketli Çiftliği vor. Diese Marmore sind denen von Ketli Çiftliği sehr ähnlich, mit dem Unterschied, dass hier deutlich höhere Dolomitgehalte zu beobachten sind, die auch einer starken Schwankung unterworfen sind. Unter dem Mikroskop sind hier auch verstärkt getrübt Bereiche zu erkennen.

Die Marmore des kleinen Vorkommens von Gölluce sind denen von Urfalidağı-Tepesi sehr ähnlich und weisen wie diese eine relativ breite Streuung in ihrer chemischen Zusammensetzung auf.

Die beiden Steinbrüche Urfalidağı-Tepesi und Gölluce werden wegen ihrer von der Hauptgruppe Ephesos I etwas abweichenden Zusammensetzung als Ephesos Ia zusammengefasst. Es ist für diese Arbeit von Bedeutung, dass die Marmore dieser beiden Steinbrüche gelegentlich silikatische Verunreinigungen aufweisen und im Vergleich mit den anderen Ephesos I-Steinbrüchen von deutlich schlechterer Qualität sind.



Textabb. 17: Die petrographischen Charakteristika der Marmore des Steinbruchs Ketli Çiftlik stimmen sehr gut mit den Marmoren der Basis des Mausoleums überein (siehe Textabb. 15).

¹⁷⁴⁷ In seiner Dissertation bringt CRAMER Isotopenanalysen und chemische Analysen von einigen Proben von Kuşini, Urfalidağı-Tepesi und von den Kalken der Siebenschläfergrotte, CRAMER 2004, passim.

Ephesos II

Von den in Textabb. 13 gezeigten Steinbrüchen gehören die Abbaue von Belevi, Kuşini und Sağlik zu diesem Typ. Generell ist zu bemerken, dass das mikroskopische Bild der Marmore der Steinbrüche dieser Gruppe sehr unterschiedlich ist. Die Brüche von Belevi liegen etwa 2 km NNW in Sichtweite des Mausoleums. Man geht davon aus, dass es sich dabei um die Brüche handelt, von denen bereits VITRUV berichtet¹⁷⁴⁸. Die von ATTANASIO (2003 und 2006)¹⁷⁴⁹ angegebenen Proben werden in diesen Arbeiten irrtümlich dem Steinbruch Belevi zugeschrieben. Die Marmore von Belevi sind unter dem Mikroskop durch ein gleichkörniges (homöoplastisches) Gefüge gekennzeichnet. Eine gewisse Auslängung der Kalzitkristalle deutet eine schwache Schieferung an. Eine Deformation des Gefüges wird auch durch die gebogenen Zwillinglamellen der Kalzitkristalle dokumentiert. Die maximale Korngröße der ausgelängten Kalzitkristalle beträgt ca. 1,7 mm. Die Korngrenzen sind im Gegensatz zu den Marmoren von Kuşini immer gerade und nicht verzahnt.

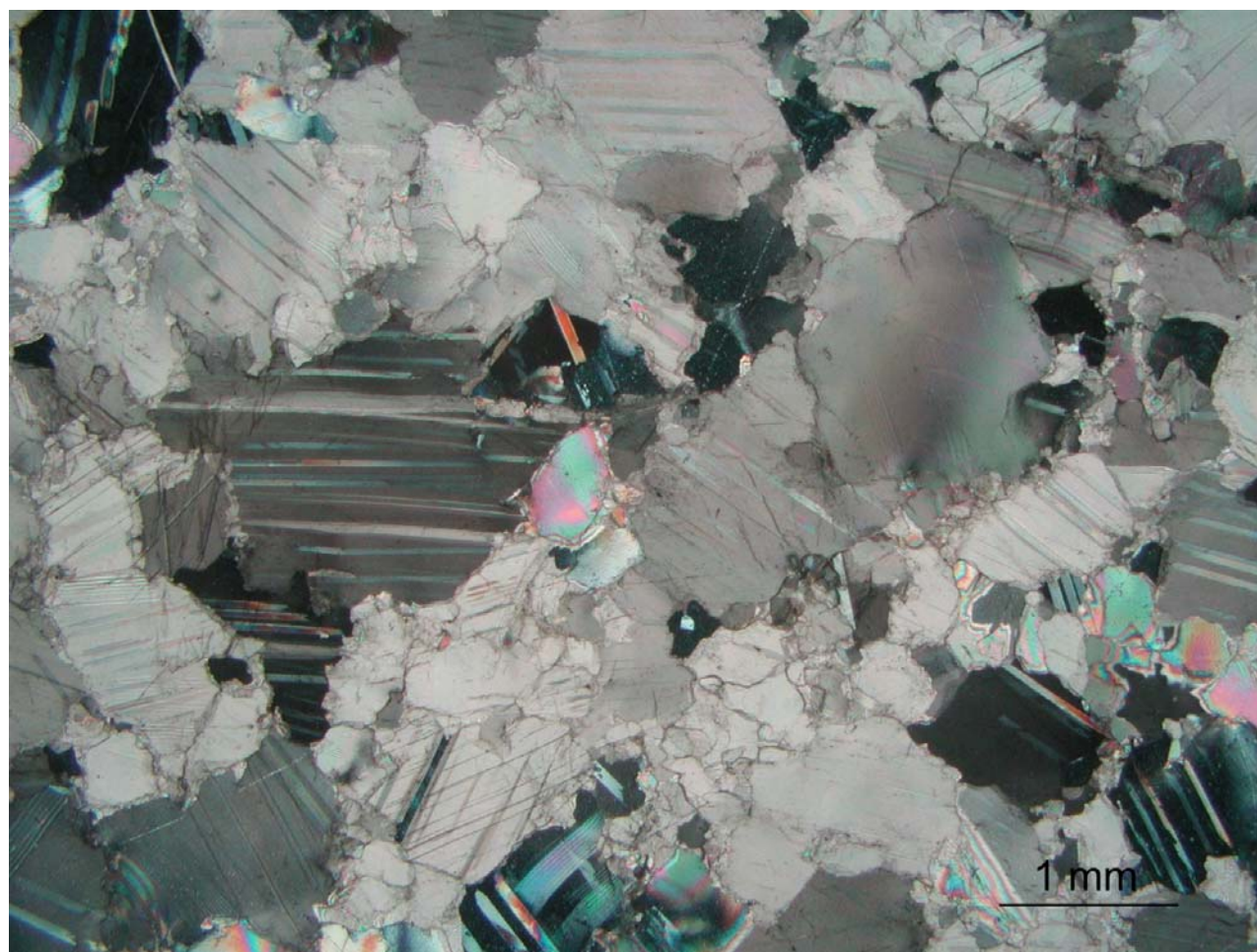
Der untertägige Marmorabbau von Kuşini liegt am Kurtkaya zwischen Ephesos und Belevi und wurde bereits von ATALAY beschrieben¹⁷⁵⁰. Die etwa 10 m mächtige Marmorlage geht in den

hängenden Bereichen der Abbauzone in einen dunkelgrauen bis schwarzen Marmor über. Die maximale Korngröße dieses sehr reinen Marmors liegt bei ca. 2 mm. Es handelt sich um einen Kalzitmarmor ohne dolomitische Beimengungen. Silikatische Verunreinigungen treten nur äußerst untergeordnet auf. Charakteristisch sind sehr stark verzahnte Korngrenzen der Kalzitkristalle und ein Kleinkornpflaster (Mörteltextur) von kleinen zerbrochenen Kalziten zwischen den großen Kristallen (siehe Textabb. 18)¹⁷⁵¹.

15.4 Geochemische Untersuchungen

Gesteinsgeochemie (Haupt- und Spurenelemente) und Isotopengeochemie

Die im Zuge dieser Untersuchungen gezogenen Proben wurden mittels Atomabsorptionsanalyse auf die wichtigsten Haupt- und Spurenelemente analysiert. Bis dato gibt es keine zusammenfassenden chemischen Untersuchungen der ephesischen Marmore. LAZZARINI U. A. und CRAMER¹⁷⁵² präsentieren die chemischen Ergebnisse von Einzelproben einiger Steinbrüche. Wie oben erwähnt, wurden von YAVUZ U. A. (2011) umfangreiche Isotopendaten dieser Steinbrüche publiziert.



Textabb. 18: Mikrophoto eines Marmors mit ausgeprägter Mörtelstruktur vom untertägigen Steinbruch

¹⁷⁴⁸ Nach der von VITRUV überlieferten Legende seien die Marmorvorkommen von Belevi vom Schafhirten Pixodaros durch Zufall entdeckt, und für den Bau des Artemision I verwendet worden (ALZINGER in: PRASCHNIKER – THEUER 1979, 167).

¹⁷⁴⁹ Nach der in ATTANASIO angegebenen Skizze und nach den angegebenen Koordinaten stammen diese Proben von dem Steinbruch, der hier in dieser Arbeit als Urfalidağı – Tepesi bezeichnet wird, ATTANASIO, 2003, passim und ATTANASIO 2006, passim.

¹⁷⁵⁰ ATALAY 1985, 311–314.

¹⁷⁵¹ Dieses Gefüge wird auch schon von LAZZARINI U. A. 1980, 173–183 als beispielhaft für Marmore mit verzahnten Korngrenzen und Mörteltextur beschrieben.

¹⁷⁵² LAZZARINI u. a. 1980, 173–183, CRAMER 2004, passim.

In Tab. 30 sind die Ergebnisse der chemischen Analysen der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Proben wiedergegeben. Es werden hier die Durchschnittswerte der beiden Hauptgruppen der Marmore des Mausoleums angeführt und die Werte für die beiden ephesischen Marmorgruppen Ephesos I (bzw. Ia) und II.

Die Magnesiumgehalte aller untersuchten Marmortypen sind sehr variabel und spiegeln den Dolomitanteil im jeweiligen Marmor wider. Die Marmore der Steinbrüche Belevi und Kuşini weisen eher geringere Magnesiumgehalte im Vergleich zu den beiden anderen Steinbrüchen auf. Der Steinbruch Urfalidaği-Tepesi weist die höchsten Dolomitanteile und daher auch die höchsten Magnesiumgehalte auf. Aufgrund der großen Schwankungsbreite ist der Magnesiumgehalt zur Unterscheidung einzelner Marmorgruppen nur wenig geeignet.

Eisen und Mangan verhalten sich geochemisch sehr ähnlich. Auffallend sind die sehr hohen Eisengehalte der Marmore der Mausoleumbasis, die nur mit den beiden Steinbrüchen der Gruppe Ephesos Ia korrelieren.

Mit durchschnittlich 75,5 ppm weisen die Marmore der Gruppe Ephesos II für kalzitische Karbonatgesteine ungewöhnlich geringe Strontiumgehalte auf. Ähnlich niedrige Gehalte wurden schon von LAZZARINI U. A. und CRAMER¹⁷⁵³ von Einzelproben dieser Steinbrüche angegeben. Bei keinem der untersuchten Bauelemente des Mausoleums wurden ähnlich geringe Strontiumgehalte analysiert.

Abgesehen von der oben zitierten Arbeit von YAVUZ ET U. A. (2011) gibt es bisher keine zusammenfassende oder systematische Arbeit über die ephesischen Marmore, in denen umfangreichere analytische Datensätze über die isotopische Zusammensetzung ephesischer Marmore präsentiert werden. In einem interdisziplinären Forschungsprojekt des Österreichischen Archäologischen Instituts und der Universität Gent (Arbeitsgruppe MOENS und DE PAEPE) wurden von den wesentlichen Steinbrüchen Proben gezogen, die daraus resultierenden Daten wurden in einigen „Abstracts“ zusammenfassend veröffentlicht¹⁷⁵⁴. Den in der Folge zum Vergleich herangezogenen Isotopenfeldern der verschiedenen ephesischen Marmore liegen die Daten von etwa 200 ephesischen Steinbruchproben aus unserer Datenbank zugrunde.

In den bisher vorliegenden Untersuchungen der Verhältnisse der stabilen Isotope der ephesischen Marmore¹⁷⁵⁵ werden im Wesentlichen zwei Felder im Isotopendiagramm ausgewiesen. In Textabb. 19 sind die Ergebnisse der im Zuge dieser Arbeit analysierten Proben wiedergegeben. Die Isotopenfelder der verschiedenen ephesischen Marmore sind im Diagramm zum Vergleich dargestellt. Weiters sind die Marmore von Heraklea/Milet angeführt, da

deren Zusammensetzung mit jener einiger Skulpturen, die beim Mausoleum gefunden wurden, übereinstimmen. Das Feld „Ephesos I“ ist durch sehr leichte $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ -Werte charakterisiert, wie sie in den klassischen Marmorlagerstätten außer in Ephesos nur bei den parischen Marmoren und bei einem Teil der Marmore aus der Marmara-Region zu finden sind. In diesen Bereich fallen die Proben der Steinbrüche Ketli Çiftliği und Ahmetli Köyü. Die Proben der Steinbrüche Urfalidaği-Tepesi und Gölluce zeigen ähnlich leichte $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ -Werte, das entsprechende Isotopenfeld dehnt sich allerdings sehr weit in Richtung der leichten $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ -Werte aus. Die Zusammensetzung der Marmore vom Typ I des Mausoleums (Unterbau) stimmt am besten mit den Marmoren des Steinbruches Gölluce überein.

Die Marmore vom Typ II vom Mausoleum (Wände, Säulen etc.) sind, wie in Textabb. 19 zu sehen ist, praktisch identisch mit dem Feld „Ephesos I“ und dem Feld für den Steinbruch Ketli Çiftliği. Dieser Steinbruch ist bei weitem der größte der untersuchten Abbaustellen und soll auch das Material für das klassische Artemision geliefert haben.

Die analytischen Ergebnisse von vier Proben von Dachziegeln (Textabb. 19) liegt außerhalb des Bereiches der ephesischen Isotopenfelder ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ -Werte zwischen 2 und 3 ‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ -Werte zwischen –2 und –5 ‰). Diese Gruppe liegt damit in einem Bereich, der für viele kleinasiatische Marmorlagerstätten charakteristisch ist, und erlaubt auf der Basis der Isotopenuntersuchung alleine keine eindeutige Zuordnung.

In das Feld „Ephesos II“ fallen die Proben der Steinbrüche Belevi und Kuşini, die in ihrer isotopischen Zusammensetzung sehr ähnlich sind. Keine der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Proben vom Mausoleum konnte dieser Gruppe bzw. diesen Steinbrüchen zugeordnet werden.

Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse

Wie eingangs erwähnt wurde im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich zu den geochemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen die Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse der Marmore zu ihrer Charakterisierung und zur Herkunftsbestimmung verwendet. In den Marmoren sind Flüssigkeitseinschlüsse in einer Größe von wenigen µm vorhanden, die bei der Bildung dieser Gesteine eingeschlossen wurden und bei der Metamorphose der Marmore zumindest im Steinbruchbereich homogenisiert wurden. 1 g einer Marmorprobe wird von Oberflächenverunreinigungen gereinigt, die mikroskopisch kleinen Einschlüsse werden daraus mechanisch extrahiert und mittels Ionenchromatographie auf ihre chemischen

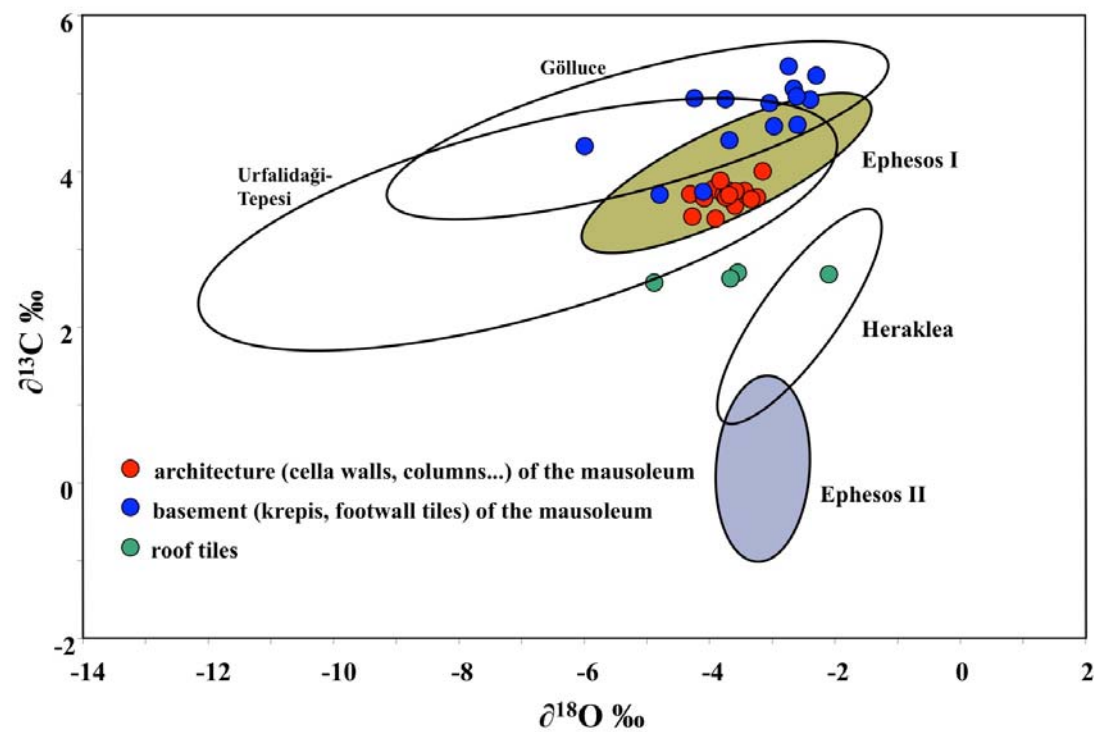
	MgCO ₃	Fe ppm	Mn ppm	Sr ppm	$\delta^{18}\text{O}_{\text{(PDB)}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{(PDB)}}$
Steinbrüche						
Ephesos I (n = 65)	3,20	185,1	28,7	132,0	–3,78	3,95
Ephesos Ia (n = 19)	7,96	499,8	104,9	131,8	–6,22	3,93
Ephesos II (n = 47)	1,15	128,0	28,2	75,5	–3,16	0,18
Mausoleum						
Typ I Mausoleum (n = 13)	4,87	593,0	82,1	125,4	–3,48	4,70
Typ II Mausoleum (n = 17)	2,93	182,6	34,7	101,1	–3,79	3,70

Tab. 30: Durchschnittsgehalte der analysierten chemischen Parameter von Marmorproben der Steinbrüche und des Mausoleums

¹⁷⁵³ LAZZARINI U. A. 1980, 173–183, CRAMER 2004, passim.

¹⁷⁵⁴ MUSS U. A. 2003, passim.

¹⁷⁵⁵ Eine Zusammenfassung der in der Literatur vorhandenen Isotopendaten gibt HERZ 1987, 35–43.



Textabb. 19: Isotopendiagramm der untersuchten Proben der Architektur des Mausoleums und die Felder der isotopischen Zusammensetzung der ephesischen Marmore und der Marmore von Heraklea/Milet (statistische 90% Ellipsen).

Bestandteile untersucht (Li, Na, K, F, Cl, Br, J und SO₄). Wegen der besseren Vergleichbarkeit wurden die Werte auf Na normiert. Die analysierten Durchschnittsgehalte sind in Tab. 31 angegeben. Mit Hilfe dieser Methode war es in der gegenständlichen Arbeit möglich, die beiden Haupttypen der beim Bau des Mausoleums verwendeten Marmore besser voneinander abzutrennen als ausschließlich durch die Isotopenuntersuchungen. Generell ist zu bemerken, dass der lösliche Anteil (die extrahierten Flüssigkeits-

einschlüsse) bei den Proben vom Oberbau des Mausoleums (Typ II) und den Proben vom Steinbruch Ketli Çiftliği etwa 3 bis 4 x höher ist als bei den Proben der Krepis und der Steinbrüche Belevi/Kuşini. Für die Auswertung dieser größeren Anzahl an Variablen (Isotopendaten, Spurenanalysen und die Analyse der Flüssigkeitseinschlüsse) wurde eine computergestützte (Programmpaket STATISTIKA) multivariate Analyse durchgeführt.

	Li/Na	K/Na	F/Na	Cl/Na	Br/Na	I/Na	SO ₄ /Na
Steinbrüche							
Belevi/Kuşini (n = 16)	2,11	379,33	13,83	2929,82	5,68	16,05	353,44
Ketli Çiftliği (n = 6)	2,24	83,79	3,10	2876,84	3,11	1,43	575,81
Urfalidaği-Tepesi (n = 13)	4,04	183,14	4,76	1855,24	5,74	2,55	217,33
Mausoleum							
Typ I Mausoleum (n = 13)	1,38	256,46	7,00	2449,38	10,51	17,53	508,79
Typ II Mausoleum (n = 18)	0,94	110,59	2,22	1964,58	2,71	1,66	79,71

Tab. 31: Durchschnittsgehalte der analysierten Fluideinschlüsse von Marmorproben der ephesischen Steinbrüche und des Mausoleums von Belevi.

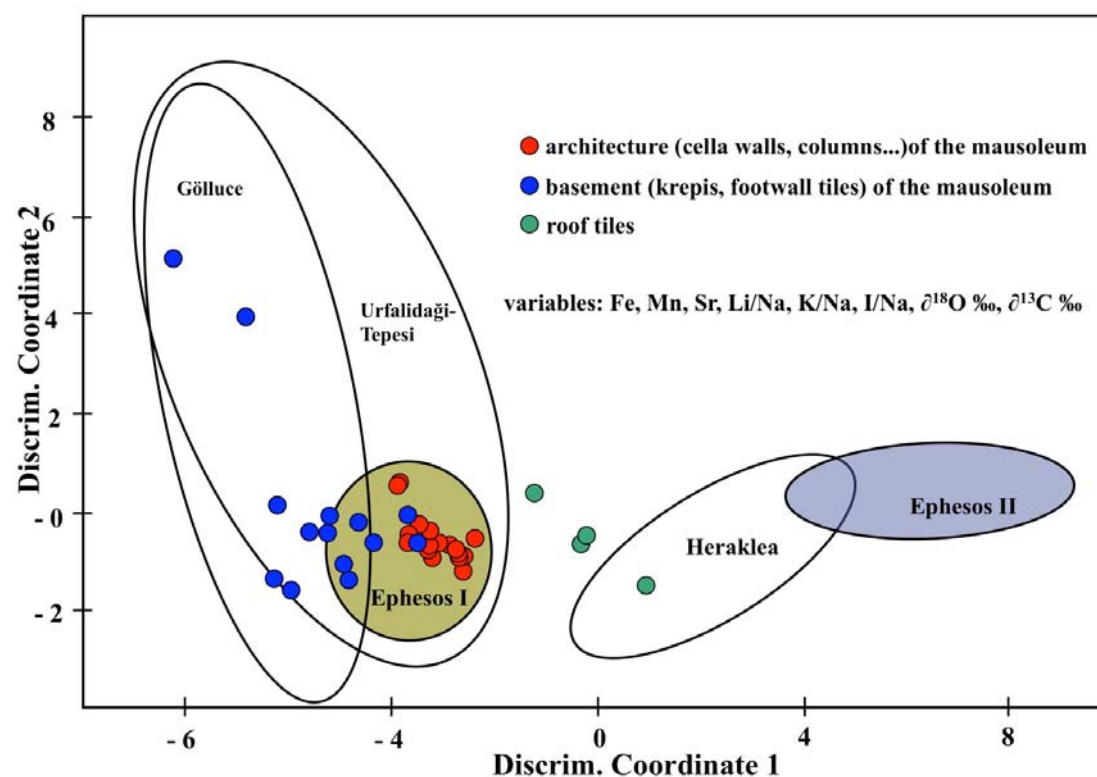
15.5 Interpretation und Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Steinbrüche

Die Steinbrüche der Region um Ephesos können aufgrund der multivariaten Analyse (Textabb. 20) in drei Gruppen eingeteilt werden: Die Steinbrüche von Belevi/Kuşini, Ketli Çiftliği und Urfalidaği-Tepesi/Gölüce bilden jeweils ein eigenes Cluster. Da die Steinbrüche von Heraklea und Milet auch schon im 4. vorchristlichen Jahrhundert sehr prominente Marmorlieferanten waren, wurden im Rahmen der gegenständlichen Arbeit Proben dieser Steinbrüche zu Vergleichszwecken analysiert. Diese beiden Brüche bilden entsprechend der multivariaten Auswertung ein eigenes Cluster und stimmen mit keinem der ephesischen Steinbrüche

überein. Es ist bemerkenswert, dass die beiden wichtigen Steinbrüche von Belevi und Kuşini nur mikroskopisch in ihren textuellen Ausbildungen gut zu unterscheiden sind, sie sind aber in ihrer chemischen Zusammensetzung (Isotopie, Fluideinschlüsse und Gesteinschemismus) praktisch identisch und daher auch mit Hilfe der multivariaten Analyse nicht zu trennen.

Diese Vielfalt in der Zusammensetzung der ephesischen Marmore ist wohl im geologischen Aufbau dieser Region begründet. Möglicherweise gehören die Steinbrüche von Ketli Çiftliği und Urfalidaği-Tepesi zum Attisch-Kykladischen Komplex, dessen Marmore sich durch sehr leichte Kohlenstoffisotopie auszeichnen (wie z. B. die parischen Marmore). Die Steinbrüche von Belevi und Kuşini könnten demnach geologisch zum Menderes Massiv gehören.



Textabb. 20: Bivariates Diagramm der multivariaten Analyse der untersuchten Proben der Architektur des Mausoleums und die Felder der isotopischen Zusammensetzung der ephesischen Marmore und der Marmore von Heraklea/Milet (statistische 90% Ellipsen). Es sind die beiden wichtigsten Faktoren der multivariaten Analyse dargestellt.

Das Mausoleum

Sowohl die petrografischen Untersuchungen als auch die multivariate Auswertung der geochemischen Untersuchungen der Marmore, die beim Bau des Mausoleums von Belevi verwendet wurden, zeigten, dass zwei Haupttypen von weißen Marmoren vorliegen (Typ I: Krepis und Bodenplatten des Mausoleums und Typ II: äußere Wände, Säulen etc.). Die isotopische Zusammensetzung und die multivariate Auswertung aller analysierten Variablen (s. Textabb. 20) zeigen relativ deutlich, dass beide Marmortypen aus dem ephesischen Bereich kommen. Teile der parischen Marmore oder Varianten des prokonnesischen Marmors könnten ähnliche Zusammensetzungen aufweisen, kommen aber aus petrografischen oder chemischen Gründen nicht in Frage. Die weniger gute Qualität von Marmor (Typ I) wurde für die Krepis des Mausoleums und für die Bodenplatten der Grabkammer verwendet. Dieser Typ ist eindeutig von der besseren Marmorqualität des Oberbaues des Mausoleums (Typ II) zu unterscheiden. Trotz der signifikanten Unterschiede in der Korngröße, im Gehalt an Eisen und anderen Spurenelementen, im Gefüge etc. gibt es auch gewisse Ähnlichkeiten (stabile Isotope, Dolomitgefüge), die auf eine Verwandtschaft in ihrer Provenienz hinweisen.

Diese beiden Marmortypen, die bei der Architektur des Mausoleums Verwendung fanden, sind zwar durch die Isotopenanalyse zu diskriminieren, die jeweiligen Isotopenfelder überlagern sich aber bis zu einem gewissen Grad (Textabb. 19). Die zusätzliche Analyse und Auswertung weiterer chemischer Parameter und besonders auch die Analyse der Fluideinschlüsse können aber den

Grad der Unterscheidbarkeit dieser beiden Typen deutlich verbessern (Textabb. 20).

Für den qualitativ nicht besonders guten Marmor der Krepis des Mausoleums (Typ I) kommt als Liefergebiet mit großer Wahrscheinlichkeit der Steinbruch Gölluce in Frage.

Die gegenwärtigen Untersuchungen belegen sehr deutlich, dass für den qualitativ hochwertigen Marmor für den Oberbau des Mausoleums von Belevi (Typ II) die wesentliche Quelle der Steinbruch von Ketli Çiftlik war. Offensichtlich war dieser Steinbruch in spätklassischer Zeit eine sehr prominente Gewinnungsstätte für hochwertigen Marmor. Nach MUSS U. A. und BAMMER¹⁷⁵⁶ sollen aufgrund von Isotopenuntersuchungen die Marmore, die zum Bau des klassischen Artemisions gedient haben, aus dem großen Steinbruch von Ketli Çiftlik kommen, und ein Nettovolumen an Baumaterial im Ausmaß von ca. 50.000 m³ geliefert haben; allerdings scheint diese Berechnung bei Weitem zu hoch angesetzt. Das Marmorinventar der beiden Dipteroi des Artemisheiligtums wurde in jüngster Zeit eingehend untersucht¹⁷⁵⁷. Demzufolge stammen die Marmore für den spätklassischen Bau aus dem Steinbruch Ketli Çiftlik, die Marmore für das kleinere, archaische Artemision kommen vom Steinbruch Belevi, wo die entnommene Gesamtkubatur wesentlich geringer ist als in Ketli Çiftlik.

Es ist bemerkenswert, dass für die wichtigsten Architekturteile des Mausoleums von Belevi kein Material von den Steinbrüchen Belevi oder Kuşini (Ephesos II) nachgewiesen werden konnte.

¹⁷⁵⁶ MUSS U. A. 2003, passim; BAMMER 2000, 437–444.

¹⁷⁵⁷ Das Gesteinsinventar wurde im Rahmen einer ausführlichen gesteinskundlichen Analyse untersucht: KERSCHNER – PROCHASKA 2011, 73–154. Die Marmore der auf-

gehenden Architektur der beiden Dipteroi sind eindeutig den beiden genannten Steinbrüchen zuzuordnen, es konnte auch für den spätklassischen Bau keine Verwendung von Spolien nachgewiesen werden.

Die Skulpturen

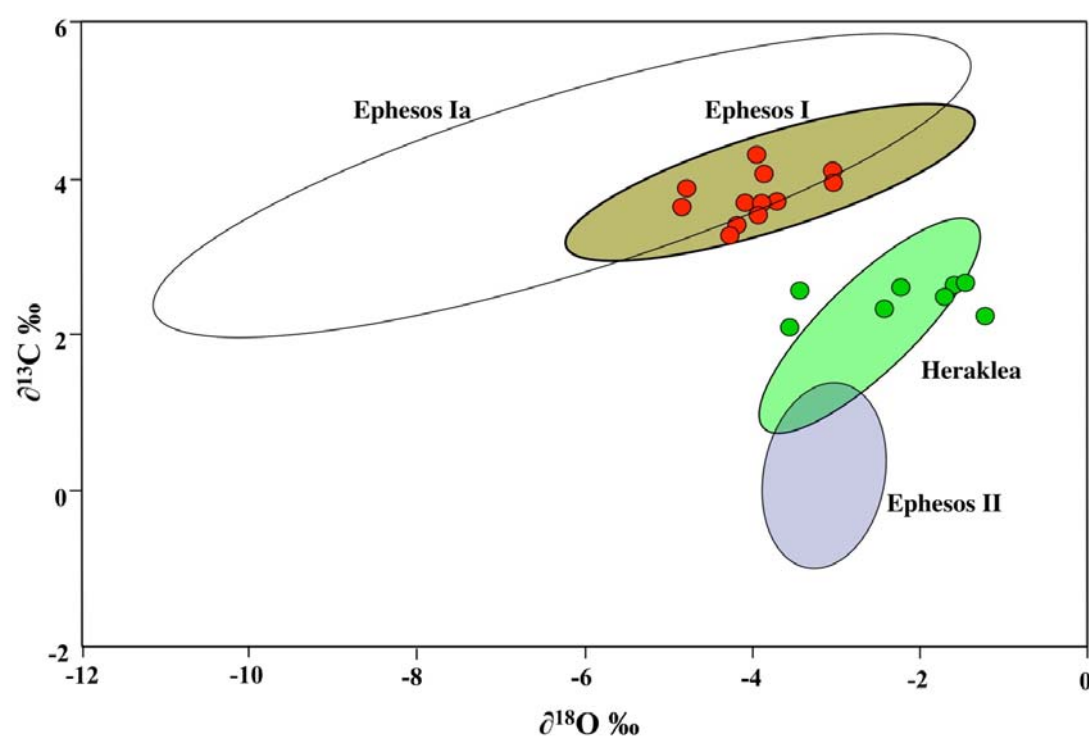
Wie die analytischen Ergebnisse zeigen, fallen die Projektionspunkte der untersuchten Skulpturen sowohl im Isotopendiagramm als auch in der multivariaten Analyse in zwei unterschiedliche Felder und stammen daher von zwei verschiedenen Lokalitäten (Textabb. 21 und 22). Die meisten der beprobten Skulpturen stimmen mit den Marmoren vom Typ II des Mausoleums (Oberbau) überein und können wie diese dem Steinbruch Ketli Çiftlik zugeordnet werden.

Die Isotopenuntersuchungen zeigen, dass die andere Probengruppe zwischen den Feldern Ephesos I und Ephesos II liegt. Diese Proben stammen daher nicht aus der Region von Ephesos. Wie aus den Textabb. 21 und 22 ersichtlich ist, fällt dieser Teil der Skulp-

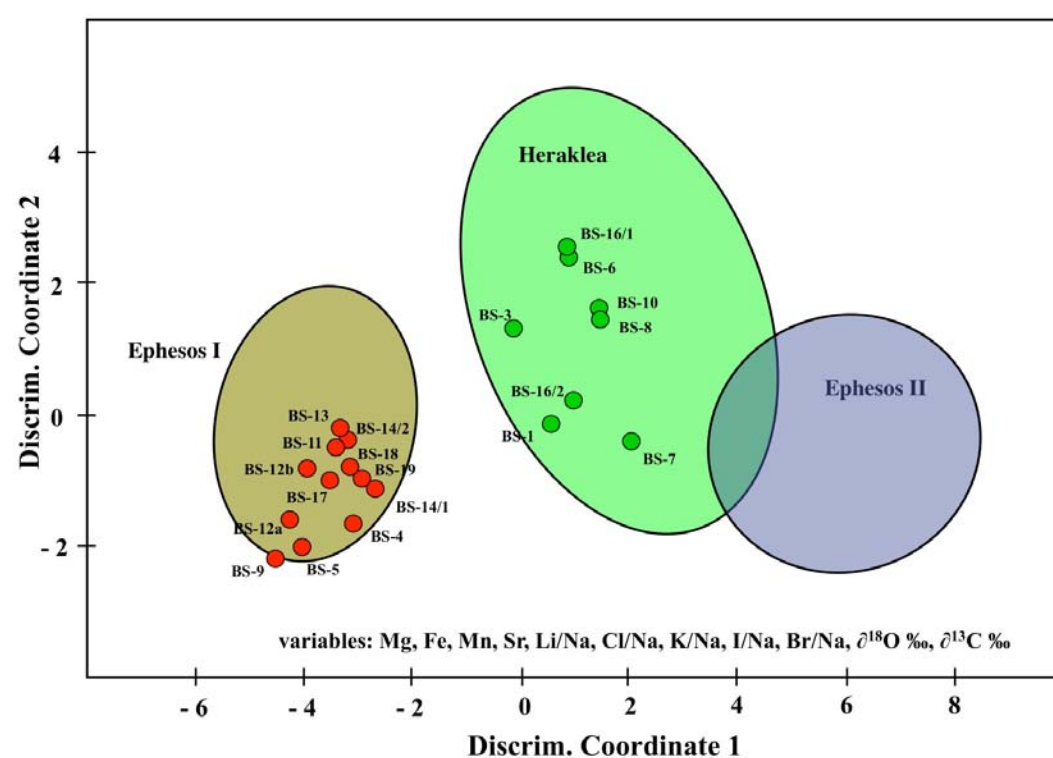
turproben in die Felder, die für die Steinbrüche von Heraklea/Milet charakteristisch sind. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit stammt daher der Marmor dieser Skulpturen des Mausoleums von den klassischen Brüchen von Heraklea oder Milet.

Die Probe vom Deckel des Sarkophages stimmt sehr gut mit dem Marmortyp II (Oberbau des Mausoleums und Steinbruch Ketli Çiftlik) überein. Die Probe vom Kasten des Sarkophages zeigt deutliche chemische Unterschiede und scheint auch wesentlich feinkörniger zu sein als die Probe des Deckels. Leider erlaubte die Größe der Proben nicht, ein mikroskopisches Präparat anzufertigen, was in diesem Fall für eine genauere Bestimmung unerlässlich wäre.

Walter PROCHASKA



Textabb. 21: Isotopendiagramm der untersuchten Proben der Skulpturen des Mausoleums und die Felder der isotopischen Zusammensetzung der ephesischen Marmore und der Marmore von Heraklea/Milet (statistische 90% Ellipsen).



Textabb. 22: Bivariates Diagramm der multivariaten Analyse der untersuchten Proben der Skulpturen des Mausoleums und die Felder der isotopischen Zusammensetzung der ephesischen Marmore und der Marmore von Heraklea/Milet (statistische 90% Ellipsen). Es sind die beiden wichtigsten Faktoren der multivariaten Analyse dargestellt.