

Impressum

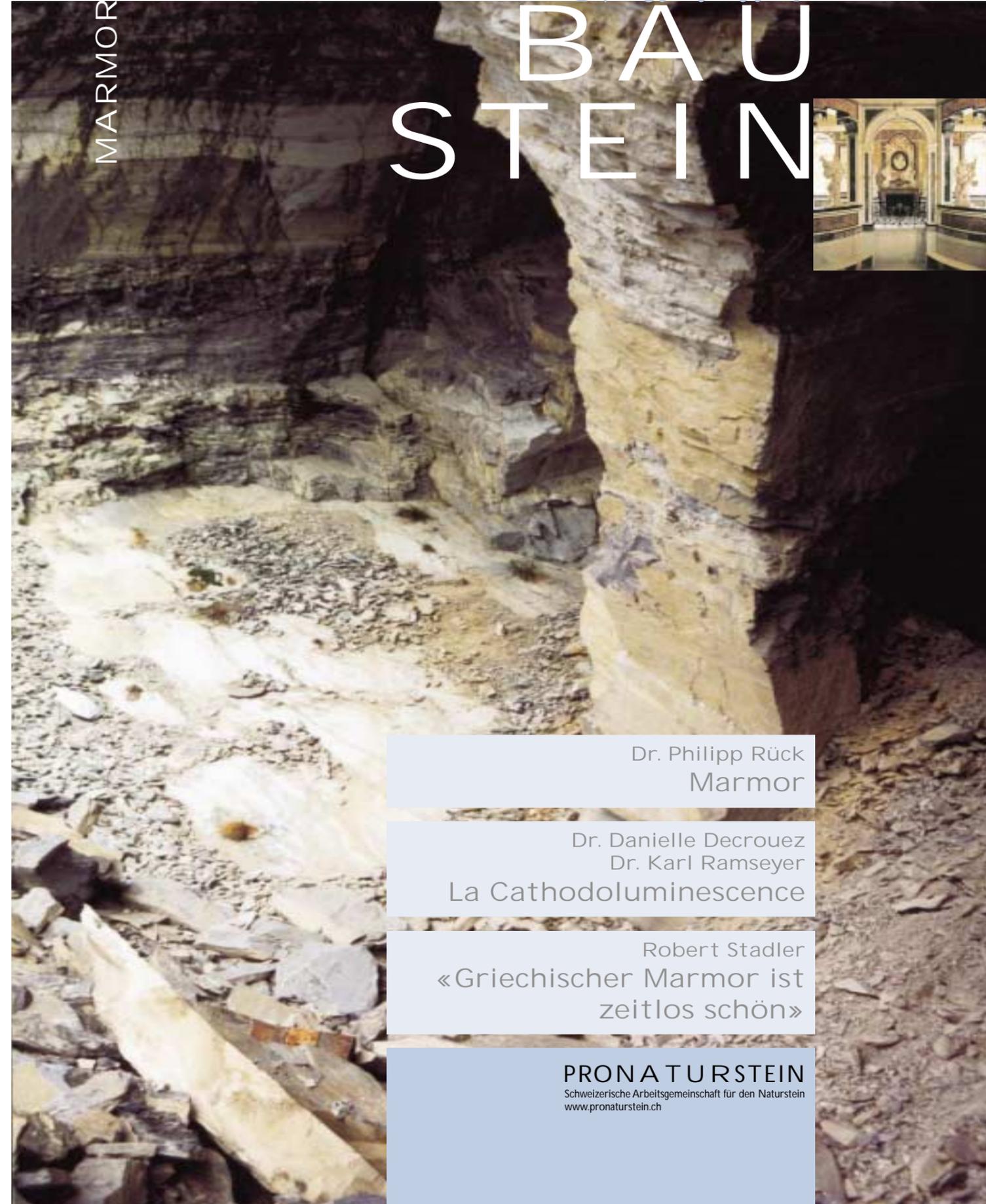
Herausgeber:
Schweizerische Arbeitsgemeinschaft Pro Naturstein

Redaktion:
Dr. Jürg Gerster & Partner AG, Zürich

Gestaltung und Satz:
Weber AG, Thun/Gwatt

Druck:
Stämpfli AG, Bern

Auflage:
12 000 Exemplare, Oktober 2002



Dr. Philipp Rück
Marmor

Dr. Danielle Decrouez
Dr. Karl Ramseyer
La Cathodoluminescence

Robert Stadler
«Griechischer Marmor ist
zeitlos schön»

PRONATURSTEIN
Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein
www.pronaturstein.ch



VORWORT

Marmor

Mit der vorliegenden Publikation zum Thema Marmor haben wir die Schriftenreihe der Pro Naturstein um ein weiteres Spezialthema ergänzt, das nicht nur verständlich und umfassend über diesen Naturstein berichtet, sondern wegen dem gegenwärtig zunehmenden Interesse an diesem Werkstoff auch noch hoch aktuell ist.

Der Artikel von Dr. Philipp Rück, Natursteinexperte, gibt in bestechender Präzision einen Gesamtüberblick über das Umfeld des Marmors. Wer seinen Beitrag liest, erhält eine Einführung in die Entstehung des Marmors sowie einen Überblick über die historischen und gegenwärtigen Verwendungszwecke und wird vertraut gemacht mit den Verarbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten.

Der Beitrag von Frau Dr. Danielle Decrouez, Direktorin der Abteilung Geologie des Naturhistorischen Museums von Genf, und von Koautor Dr. Karl Ramseyer, Forschungsassistent am Geologisch-mineralogischen Institut der Universität Bern, gibt Einblick in die Möglichkeiten, wie modernste Hochschulforschung im Bereich der Natursteine in der Praxis genutzt werden kann. Der Artikel passt somit füglich in die gegenwärtigen Bestrebungen, Wissenschaft und Wirtschaft näher zu bringen und gegenseitige Synergien zu entfalten. Der Artikel führt eindrücklich vor Augen, wie heute mit einer neuen wissenschaftlichen Untersuchungsmethode des Mikrogefüges von Gesteinen dessen Herkunft nicht nur in Bezug auf Entstehung, sondern auch hinsichtlich der geografischen Verbreitung bestimmt werden kann.

Da auch die natursteinverarbeitende Industrie zunehmend Kooperationen in überregionalen Märkten anstreben muss, ist es zu begrüßen, dass der Fachartikel von Frau Dr. Danielle Decrouez und Dr. Karl Ramseyer in französischer Fassung erscheint. Dem Artikel ist eine Kurzzusammenfassung in Deutsch vorangestellt.

Die Pro Naturstein ist nicht nur bestrebt, der Branche mit aktuellen und interessanten Publikationen zuzudienen, sondern auch gehalten, ihren eigenen Marktauftritt in einer zeitgemässen Robe zu bewerkstelligen. Aus diesem Grund erscheint die vorliegende Schrift in einer neuen Aufmachung.

Dr. Alex Mojon
Direktor Pro Naturstein

Bisher in der Reihe NaturBauStein erschienen:

- Gleitfestigkeit/Rutschsicherheit
 Wintergärten
 Marmor
 Schweizer Sandstein
 Steinbrüche im Tessin
 Verlegetechnik
 Naturstein im Aussenbereich
 Küchenabdeckungen

Bestellung

Bitte senden Sie uns ____ Ex. NaturBauStein-Hefte (bitte gewünschte(s) Exemplar(e) ankreuzen).

Name/Firma _____

Kontaktperson _____

Branche _____

Adresse _____

PLZ/Ort _____

Datum _____

Unterschrift _____

Bitte einsenden an:

Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für den Naturstein Pro Naturstein, Konradstrasse 9, Postfach 7190, 8023 Zürich,
Tel. 043 366 66 70, Fax 043 366 66 01.

Bezugspreise

Für Mitglieder Pro Naturstein und Naturstein-Verband Schweiz gratis (ab 20 Stk. Fr. 1.50 pro Exemplar+Porto, MWST).
Für Nichtmitglieder gratis gegen vorfrankierten und adressierten Umschlag (ab 20 Stk. Fr. 1.50 pro Exemplar+Porto, MWST).
Für Schulen gratis!

Sichten Sie sämtliche Publikationen unter www.pronaturstein.ch (online Bestellung möglich).

MARMOR Dr. Philipp Rück

Das Wort Marmor stammt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet Stein oder Felsblock. Damit war Marmor ein Begriff für Stein schlechthin. Marmor galt von je her als besonders wertvoll. So ist beim Römer Plinius (Plinius Secundus d. Ä.; 23 bis 79 n. Chr.) nachzulesen, dass Marmor, wie Elfenbein und Gold, eigentlich den Göttern vorbehalten war und dass der private Gebrauch einen Sittenzerfall darstelle. Weiter berichtet Plinius über berühmte Marmorstatuen der Antike. Neben dem bekannt hohen Niveau der griechischen Bildhauer war es bestimmt auch das Material, das auf den Betrachter eine grosse Faszination ausübte. So wird berichtet, dass

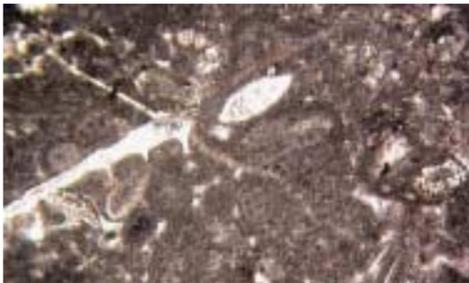


Foto 1

Marmorstatuen der Aphrodite und des Eros vor «Verliebten» geschützt werden mussten.

Der heutige Begriff Marmor hat zwei Bedeutungen. Im wissenschaftlichen Sinne ist Marmor ein rekristallisiertes Karbonatgestein, entstanden aus Kalkstein oder Dolomit, unter Einwirkung von Druck und Temperatur. Im italienischen Steingewerbe wird der Begriff Marmor (marmo) viel breiter verwendet und bezeichnet polierfähige Weichgesteine. Unter den italienischen Begriff «marmi» fallen somit auch Kalksteine, Serpentine und dergleichen. Dies führt zuweilen zu Missverständnissen. Im nachfolgenden Text ist von den Marmoren die Rede, die unter die erste, wissenschaftliche Bedeutung des Begriffs fallen. Diese Marmore werden seit der Antike bis in die heutige Zeit als Bau- und Bildhauermaterial verwendet. Bekannte historische Beispiele sind unter anderen die Akropolis in Athen, die Statuen Michelangelos oder das Taj Mahal in Indien.

Entstehung und Verbreitung der Marmorvorkommen

Marmor ist wissenschaftlich betrachtet ein metamorpher Kalkstein.

Die Metamorphose oder Umwandlung erfolgt in der Regel im Rahmen von Gebirgsbildungen. Aus Kalk entstandene Ablagerungen, die sich vor Jahrmillionen, meist am Meeresgrund gebildet hatten, wurden zuerst zu Kalkstein. Betrachtet man einen Kalkstein im Mikroskop, dann können die einzelnen Bestandteile dieser Meeresablagerung meist noch genau erkannt werden. Es finden sich Muschelbruchstücke, winzige, planktonische Kalkschalen und andere Kalkpartikel (Foto 1, reelle Bildbreite ca. 2 mm).

Geraten solche Kalkablagerungen durch Verformungen der Erdkruste in tiefere und wärmere Bereiche, dann kommt es infolge des erhöhten



Foto 2

Drucks und der erhöhten Temperatur zur Rekristallisation des Kalkes. Es entstehen neue Kalkkristalle, meist in regelmässiger Form und Grösse. Es entsteht ein Mosaikgefüge, in dem von den alten Bestandteilen des Kalksteines nichts mehr zu erkennen ist (Foto 2, reelle Bildbreite ca. 2 mm).

Durch die Rekristallisation wird der Marmor im Gegensatz zum Kalkstein transparenter und homogener. Hier ist anzumerken, dass natürlich nur aus einem weissen Kalkstein ein weisser Marmor entstehen kann. Waren im Kalkstein dunkle Bestandteile vorhanden, so finden sich diese auch im Marmor wieder, z. B. als dunkle Adern oder wolkige Tönung. Marmore haben bisweilen

eine starke Struktur – nicht von ungefähr kommt die Bezeichnung «Marmor Kuchen» beim Kuchenbacken – Fließstrukturen wie im frischen Teig sind auch bei Marmoren häufig, da sich die Gesteinsmasse unter Druck und Temperatur oft plastisch, wie ein frischer Teig, verformt hat.

Marmore kommen auf der ganzen Welt vor, in grösseren Vorkommen allerdings nur in Gebirgen, bei deren Bildung die Erdkruste «tief aufgewühlt» wurde. Darum wird man im Schweizer Jura beispielsweise keinen Marmor finden – dieses Gebirge besteht zwar hauptsächlich aus Kalkstein, was die Entstehung von Marmor zulassen würde, wurde aber

nur ganz oberflächlich gefaltet, sodass Druck und Temperatur für die Entstehung von Marmor nicht ausreichen. In den Alpen hingegen gibt es viele Marmorvorkommen – die hier waltenden Prozesse waren stark und tiefgreifend genug, damit diese Umwandlung stattfinden konnte. Bekannte alpine Marmore sind z. B. der Cristallina-Marmor aus dem oberen Maggia-Tal, der Marmor vom Typ Lasa (jenseits des Ofenpasses) oder der Marmor vom Typ Palissandro südlich des Simplonpasses. Die weltberühmten Marmorvorkommen von Carrara bilden eine ganze Bergkette des Apennins, die sich schon von weither an den weissen, an Schnee erinnernden Marmorschutthalden erkennen lässt (Foto 3).



Foto 3

Materialtechnologisches

Marmor hat bezüglich Festigkeit und chemischer Beständigkeit ähnliche technische Eigenschaften wie Kalkstein. Die Druckfestigkeit variiert zwischen 70 und 150 N/mm² und die Porosität liegt selten über 1.5 Vol%. Ausnahmen sind Marmore, die bereits im Neuzustand verwittert sind. Dies klingt sonderbar, ist aber für bestimmte Sorten zutreffend. Diese Marmore sind zuckerweiss und klingen beim Anschlagen dumpf und matt. In Italien wird hierfür der Begriff «cotto» (gekocht) verwendet. Solche Marmore verlieren rasch die Politur und haben eine stark verminderte Festigkeit. Als dünne Platten lassen sie sich leicht durchbiegen. Der gleiche Effekt tritt bei anfangs festen und kompakten Marmoren infolge der Verwitterung auf (Temperaturwechsel und Feuchtebelastung). Wie schnell dieser Prozess abläuft ist von der verwendeten Marmorart und den lokalen Bedingungen am Einsatzort abhängig. Die heute allgemein bekannte Verbiegung von Fassadenplatten aus Marmor ist eine direkte Konsequenz dieser marmor-typischen Verwitterungserscheinung. Die Lebensdauer vorgehängter Fassadenplatten aus Marmor wird durch diesen Effekt erfahrungsgemäss erheblich reduziert. Wer Marmor zu diesem Zweck einsetzt, nimmt diese Tatsache in Kauf. Wird Marmor im Aussenbereich im Verbund oder als massives Werkstück verwendet, dann spielt dieser Effekt keine massgebende Rolle.

Abbau und Verarbeitung

Da Marmor wie Kalkstein aus Kalk besteht, lässt er sich verhältnismässig gut abbauen. Die Ritzhärte von Kalk ist geringer als die von geschmiedetem Eisen, sodass das Material schon in der Antike mit Pickel und Meissel gut zu bearbeiten war. Es ist erwiesen, dass Marmor schon zu Zeiten der Römer zu Platten aufgesägt wurde (bei Plinius nachzulesen). In der Zeit der Industrialisierung setzte sich das Seilsägen (Stahlseil) als Abbaumethode durch. Mit der Einführung der Diamantwerkzeuge (Diamantseile, Diamantfräsblätter) und moderner Gattersägen konnte die Produktivität enorm gesteigert werden. Marmor ist dank diesen Techniken heute verhältnismässig billig, zumindest in den Sorten, die in grossen Mengen zur Verfügung stehen. Das Polieren von Marmor erfolgt mechanisch, in der Regel unter Zusatz von Chemikalien (Kleesalz). Je nach Sorte und Verfahren kann ein sehr hoher Glanz erreicht werden.



Foto 4

Heute werden in den Steinbrüchen einerseits grosse Blöcke gewonnen (Foto 4). Diese werden zu Rohplatten, den sogenannten «Unmassplatten» aufgesägt. Aus kleineren Blöcken werden hauptsächlich Bodenplatten in Standardmassen hergestellt. Dies führt dazu, dass Standardplatten, die aus diesen kleinen Blöcken gewonnen werden, in Struktur und Farbe von grossen Rohplatten abweichen können. Bei Innenausbauten, wo Rohplatten (z. B. für Treppentritte) und Standardmassplatten (z. B. für Böden) kombiniert werden, muss dies berücksichtigt werden. Dies gilt, nebenbei bemerkt, natürlich auch für alle anderen Gesteinsarten.

Ästhetik und Gestaltung

Der gestalterisch optimale Einsatz von Marmor erfordert ein feines Gespür. Marmor ist überall dort besonders geeignet, wo Helligkeit und ein gewisser Glanz gefragt ist. Der Einsatz von Marmor, nur weil es «Marmor» ist, führt oft zu wenig überzeugenden Resultaten bezüglich Gestaltung. Marmor gibt es in verschiedensten Farben und Zeichnungen. Auch vielfarbige Marmore sind im Handel. Weisser Marmor ist das hellste und gleichzeitig brillanteste Natursteinmaterial, das erhältlich ist. Die bei Sonneneinstrahlung blendende Helligkeit ist mit derjenigen von Neuschnee vergleichbar. Hinzu kommt ein leichter, perlmuttartiger Schillereffekt, der dem Material seine unverwechselbare Brillanz verleiht. Marmor ist diesbezüglich durch

kein anderes Natursteinmaterial zu ersetzen – kein Granit oder Quarz hat die Leuchtkraft eines hellen Marmors.

Verlegen und Versetzen

Der Einsatz von Marmor ist in der Regel mit einem luxuriösen Ambiente verbunden, auch wenn viele Marmorarten gar nicht zu den teuren Gesteinen gehören. Da mit Marmor nichtsdestotrotz hohe Ansprüche verbunden sind, ist auf tadellose Verarbeitung durch erfahrene Fachbetriebe Wert zu legen. Unsichere Baustellenschnitte, unsaubere Fugen, Kanten und Eckschäden an Platten etc. werden als besonders störend wahrgenommen. Die Lieferungen sind vor dem Verlegen zu kontrollieren (z. B. Politurfehler, Musterkonformität). Der von Planer- und Bauherrenseite oft geäusserte Wunsch nach sogenannt fugenlosen Belägen ist in der Regel technisch nicht in befriedigender Weise realisierbar, da wegen der Masstoleranzen der Platten eben doch Fugen entstehen. Diese sind dann zu schmal, um korrekt ausgefügt zu werden. Auch sollten für Marmorbeläge keine weissen, sondern hellgraue Fugenmörtel verwendet werden, da weisse Fugen auf Dauer nicht weiss bleiben.

Zum Verlegen werden für Marmore geeignete Mittel – und Dünnbettmörtel verwendet. Bei sehr dünnen Platten (z. B. Marmetten) ist eine helle Verlegemörtelfarbe von Bedeutung – graue Mörtel können durchscheinen. Die Verklebung soll

auf jeden Fall vollflächig sein. Das Verlegen von Marmor im Dickbett ist ebenfalls eine Möglichkeit – sie vermindert das Risiko von Rissbildungen (siehe Dokumentation Bodenbeläge), kann aber bei bestimmten Marmorarten wegen Verfärbungsgefahr nicht angewendet werden (z. B. Carrara-Marmor).

Marmorbeläge müssen nach dem Verlegen, solange der Bau nicht fertiggestellt ist, sorgfältig geschützt werden. Die abschliessende Baureinigung hat fachgerecht zu erfolgen. Die Verwendung falscher Mittel und Methoden (z. B. saure Reiniger) kann hier grossen Schaden anrichten.

Generell zu berücksichtigen ist, dass die Politur bei Marmoren kratz- und säureempfindlich ist. Auch Regenwasser baut die Politur relativ rasch ab. Polierte Oberflächen werden deshalb im Aussenbereich matt und machen im Freien somit kaum Sinn. Im Innenbereich, in Nassbereichen und in Zonen, wo mit Flüssigkeiten hantiert wird, können matte Flecken entstehen. Diese lassen sich aber, von Zeit zu Zeit, durch Aufpolieren wieder entfernen. Wenn es um die Wahl der Oberflächenbearbeitung geht, dann muss die Frage der Rutschsicherheit immer auch mit bedacht werden.

Heute werden für Natursteinarbeiten eine ganze Reihe von Oberflächenbehandlungen angeboten. Imprägnierungen schützen Marmoroberflächen nur zu einem bestimmten Grad vor Fleckenbildungen. Sie verhindern das Eindringen verfärbender Substanzen in die Gesteinsmasse, sie schützen aber nicht vor Säureflecken an der Oberfläche. Die Bildung von Wasserflecken wird verzögert, solange die Imprägnierung noch frisch ist. Mit der Zeit geht dieser Schutz aber verloren. Von beschichtenden Oberflächenbehandlungen, z. B. auf der Basis von Acryl oder Polyester, wird abgeraten, da sie die Gesteinsoberfläche verfälschen und langfristig nicht dauerhaft sind. Eine nur für Kalksteine und Marmore geeignete Behandlung ist das sogenannte Kristallisieren. Es wird hauptsächlich zur Auffrischung alter Marmorböden verwendet. Dabei wird die Marmoroberfläche aufpoliert und mittels einem chemischen Verfahren gleichzeitig gehärtet (sehr oberflächliche Umwandlung des Kalkes in Flusspat).

Unterhalt und Pflege

Marmorböden und andere Marmoroberflächen im Innenbereich werden am Besten nur mit einem leicht feuchten Lappen abgewischt. Der Zusatz eines neutralen bis leicht basischen Reinigungsmittels ist bei Bedarf kein Problem. Es existieren spezielle, für Marmor konzipierte Reinigungs- und Pflegemittel. Wer den natürlichen Glanz der Marmoroberflächen erhalten will, sollte keine Mittel verwenden, die fettende oder wachsartige Pflegestoffe enthalten. Diese bauen mit der Zeit einen Film auf, der zwar glänzt, der aber im Streiflicht Striemen und Schlieren erscheinen lässt. Ausgeschüttete Flüssigkeiten, besonders wenn sie sauer sind (z. B. Kohlensäurehaltige Getränke), sollten so rasch wie möglich entfernt werden. Dasselbe gilt auch für farbige Flüssigkeiten, besonders dann, wenn der Boden nicht imprägniert ist. Besondere Vorsicht ist im Umgang mit stark sauren Mitteln (z. B. Entkalker für WC) geboten. Ein Spritzer daneben, auf den Marmorboden, hinterlässt im Nu Ätzflecken, die sich nur durch mechanisches Aufpolieren wieder entfernen lassen. Ist der Marmorbelag in stark genutzten Bereichen stumpf und matt geworden, dann lässt er sich durch Kristallisieren wieder in einen praktisch neuwertigen Zustand zurückführen. Diese Arbeit muss allerdings von einem Fachbetrieb ausgeführt werden.

Dr. Philipp Rück

LA CATHODOLUMINESCENCE Dr. Danielle Decrouez/Dr. Karl Ramseyer

Kathodolumineszenz: eine erfolgreiche Methode zur Herkunftsbestimmung des weissen Marmors

Seit 1988 setzt das Naturhistorische Museum von Genf gemeinsam mit dem Institut für Geologie der Universität Bern die Kathodolumineszenz zur Herkunftsbestimmung des weissen Marmors ein, welcher in der Antike für Skulpturen und Gebäude verwendet wurde. Dazu benützen wir die Ansicht des Gesteins unter Kathodolumineszenz, die Kathododromikofazies, sowie Mineralogie, stabile Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope und textuelle Parameter als Identifikationsmerkmale.

Dank der Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds, der «Ville de Genève» und des Instituts für Geologie haben wir eine Datenbank zusammengestellt, die mehr als 1000 Vergleichsproben aus vorwiegend antiken und einigen modernen Steinbrüchen des Mittelmeerraumes enthält. Unbekannte Marmorproben können nun mit dieser Datenbank verglichen und deren Herkunft bestimmt werden.

Intérêt de la recherche de l'origine des marbres

Connaître l'origine du marbre blanc employé dans les constructions et les sculptures antiques et récentes est important pour les archéologues. En effet, cette information leur permet notamment de déceler des faux, des copies, des ajouts ultérieurs, d'assembler avec certitude des pièces ou encore de comparer des statues apparemment semblables. Une telle indication apporte en outre des éléments pour parfaire les connaissances sur les relations commerciales entre les peuples anciens. Dans le cadre de la conservation des monuments, il est intéressant d'avoir des renseignements précis sur la provenance des marbres des bâtiments à restaurer.

L'identification de l'origine d'un marbre blanc, un problème délicat

Un marbre est un calcaire ou une dolomie métamorphisés. Un calcaire est une roche sédimentaire essentiellement constituée de carbonate de cal-

ques de l'histoire de la Terre, là où les conditions étaient propices. Lors de leur transformation en roches solides, ces boues ont conservé des indices, comme par exemple les fossiles ou les structures sédimentaires, qui permettent de les identifier. Mais lorsque ces roches sont métamorphosées (transformations à l'état solide à la suite d'une élévation de température et/ou de pression) en marbres, la recristallisation qui s'en suit fait disparaître les fossiles et les structures sédimentaires, c'est-à-dire leurs signes distinctifs. Si pour les marbres colorés, les couleurs ou les veinures particulières (dues à la présence de minéraux autres que la calcite) restent souvent un critère de reconnaissance, il en est tout autrement pour les marbres blancs. Mais les sédiments originels étant différents sur de nombreux points – composition, milieu de dépôt, ancienne situation géographique et histoire géologique – il est logique de penser que chaque marbre a encore une identité propre mais qui est devenue avec le métamorphisme difficilement décelable. Et ainsi, il fallait



Carrière de marbre antique dans le massif de l'Hymette (Attique, Grèce). Des colonnes non achevées ont été abandonnées dans la carrière.

Photo D. Decrouez

La cathodoluminescence: une méthode efficace pour identifier l'origine des marbres blancs

Depuis 1988, le Muséum d'histoire naturelle a développé, en collaboration avec l'Institut des Sciences géologiques de l'Université de Berne, une méthode particulièrement performante pour connaître l'origine du marbre blanc d'une statue ou d'une construction.

Une dolomie est une roche dont une grande partie se trouve sous forme de carbonate de calcium et de magnésium ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$). A l'origine, ces roches sont des boues constituées principalement de carbonate de calcium d'origine chimique et/ou organique (accumulation de coquilles ou squelettes calcaires de nature et de tailles diverses). Elles se sont accumulées à toutes les épo-

chercher la ou les méthodes d'investigation qui mettraient en évidence de subtils critères de reconnaissance.

Les méthodes appliquées jusqu'en 1988

En 1988, les archéologues sont peu satisfaits des analyses pratiquées par les géologues. La fiabilité des résultats est faible. Toutes les techniques

sont destructrices et en particulier celles qui exigent une quantité de matériel relativement importante sont naturellement difficiles à mettre en œuvre.

Les analyses les plus couramment appliquées sont les suivantes:

– L'analyse minéralogique.

A l'aide du microscope polarisant, les minéraux principaux et accessoires sont identifiés, la texture est caractérisée et la taille des grains mesurée. Ces données bien que nécessaires restent insuffisantes pour une bonne discrimination des marbres.

– L'analyse isotopique.

Puisque ce sont des pierres carbonatées, il est possible de mesurer les isotopes stables du carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) et de l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). Les isotopes stables de ces deux éléments se présentent dans des proportions différentes selon le type de marbre. Certes, les différences sont minimes mais il est possible de les quantifier grâce à un spectromètre de masse de haute précision.

Cette méthode a l'avantage de requérir peu de matériel: 5 mg de poudre au maximum. Elle s'est révélée assez satisfaisante tant que la quantité d'échantillons analysés était relativement peu importante. Avec la multiplication des analyses faites sur un nombre de gisements et d'échantillons toujours plus grand, il ressort que les différentes aires isotopiques montrent des zones de recouvrements considérables.

D'autres techniques d'analyses (analyse chimique par activation neutronique par exemple) ont été employées plus parcimonieusement pour différentes raisons (coût, lenteur et lourdeur du procédé, quantité de matériel exigé, etc.).

L'étude avec un microscope de cathodoluminescence, une méthode performante

Qu'est-ce que la cathodoluminescence?

La cathodoluminescence est l'émission de lumière après excitation des centres luminogènes d'un objet par des rayons cathodiques (électrons accélérés dans le vide avec une énergie comprise entre quelques centaines d'électrons-volts et environ cinquante kilo-électrons-volts). Ce type de luminescence a de nombreuses applications dans la vie courante: écrans d'oscilloscopes, de microscopes électroniques, de convertisseurs d'images, de téléviseurs, etc.

L'échec de l'équipe américaine en 1968

C. Renfrew et J.S. Peacy en 1968 proposent cette technique, mais sans

suite, pour l'étude des marbres blancs. Ces essais de cathodoluminescence furent en effet peu concluants car ils avaient été réalisés avec un appareil ne détectant pas les faibles luminescences et de plus possédant un champ d'observation très réduit. Depuis les années 90, cette méthode a pu connaître un nouveau développement grâce au microscope de cathodoluminescence de l'Institut de Géologie de l'Université de Berne (prototype mis au point par K. Ramseyer, J. Fischer, A. Matter, P. Eberhardt et J. Geiss) et à l'apparition sur le marché de nouveaux appareils. Ces microscopes présentent l'avantage de restituer des luminescences de très faible intensité.

Le principe de la méthode

La méthode consiste à prélever sur l'objet à étudier un petit échantillon (moins de 1 cm^2) et à préparer une lame mince (pellicule de roche transparente de 30 microns) que l'on polit très finement. Ensuite, la lame est placée dans le microscope de catho-

doluminescence et bombardée avec un faisceau d'électrons. Aussitôt des lueurs colorées apparaissent à la surface du fragment excité. L'image observée est reproduite sur film photographique.

Cette image, appelée cathodoluminescence, est la plupart du temps caractéristique d'une carrière ou d'une région.

L'avantage de la méthode par rapport aux autres

L'intérêt de la cathodoluminescence est de travailler sur un fragment de roche. De ce fait, la structure de celle-ci est respectée et l'identité de chaque marbre peut être mise en évidence. Imaginons deux marbres d'âges et d'origines (roche initiale et situation géographique) différents qui ont un bilan chimique identique. Étant donné qu'ils ont eu une histoire géologique différente, il n'est pas erroné de postuler que la répartition des éléments n'est pas la même pour les deux. Les analyses qui exigent de la poudre de marbre ne feront pas ressortir cette nuance,



Carrière de marbre de Saillon (Valais, Suisse)

Photo P.-A. Proz

qui sera par contre mise en évidence par la répartition et l'intensité des couleurs du cathodoluminescence.

Notre banque de données de cathodoluminescence

Grâce au soutien financier de la Ville de Genève, de l'Institut des Sciences géologiques de l'Université de Berne et du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, nous avons constitué une banque de données très importante. Elle comporte plus de 1000 échantillons provenant des carrières antiques (qui existent encore) et des carrières modernes des régions méditerranéennes et avoisinantes.

Afin que cette banque de données soit la plus complète possible, nous avons voulu établir un inventaire exhaustif des carrières antiques. Mais ce recensement s'est révélé impossible à établir car nous nous sommes heurtés aux problèmes suivants:

– les études systématiques sur la recherche des carrières antiques n'ont véritablement débuté qu'au XIX^{ème} siècle alors qu'un certain nombre de carrières avaient déjà disparu (extension de constructions, exploitations modernes implantées sur les anciennes),

– à ce jour, aucune mesure de protection n'a encore été prise pour sauvegarder les carrières antiques menacées de disparition.

Pour pallier ces difficultés qui peuvent induire des erreurs, une approche géologique a été adoptée lors de l'échantillonnage sur le terrain.

Trois couleurs de luminescence ont été décelées parmi tous les marbres de notre banque de données: le bleu et l'orange pour les marbres calcitiques, le rouge pour les marbres dolomitiques. En nous basant sur la couleur de luminescence, son intensité, sa répartition, les valeurs isotopiques, la taille des grains et la texture, nous avons établi des clés de détermination.

La fiabilité de la méthode

La précision d'une analyse qui ne repose que sur une seule technique est sujette à caution. C'est ainsi que nous en effectuons deux autres: l'étude minéralogique au microscope polarisant et l'étude des isotopes stables du carbone et de l'oxygène. L'application de ces trois études nous permet d'avoir des résultats d'une assez bonne fiabilité. Toutefois, une certaine prudence s'impose parfois: il ne faut pas vouloir conférer à tout prix une origine pour chacun des objets analysés.

Conscients des points faibles de notre outil de détermination, nous allons développer une approche en analyse d'images sur un support

électronique afin de dégager des paramètres quantitatifs et ajouter une analyse supplémentaire, l'analyse des éléments-traces.

Quelques exemples de cathodoluminescence

Les marbres du Pentélique (Attique, Grèce), toujours exploités à l'heure actuelle, montrent une luminescence orange d'intensité inégalement répartie. Les limites entre les zones fortement et faiblement luminescentes sont diffuses ce qui donne un aspect de «braises refroidissantes» qui permet de différencier ce marbre. Le seul marbre qui présente un cathodoluminescence similaire est celui de Dokimeion (Turquie) mais l'analyse isotopique est déterminante.

Dans les carrières antiques répertoriées à Paros, deux marbres aux luminescences différentes ont été reconnus: Paros-Stefani (ou Lychnites, le «marbre de neige» de Virgile) qui présente une couleur bleu foncé à bleu-rose de faible intensité alors que Paros-Chorodaki est formé de cristaux dont la taille est plus variable que ceux de Paros-Stefani et qui ont une luminescence faible à moyenne dans les orangé-marron.

Les marbres de Carrare (Apennin, Italie), encore en exploitation, possèdent des cristaux de petite dimension et la plupart une luminescence orange, homogène et d'intensité moyenne à forte. Une variété montre une luminescence bleue.

Dans les Alpes suisses, le marbre de Saillon (Valais) doit être mentionné. Il fut exploité entre 1875 et la deuxième guerre mondiale. La carrière, en partie souterraine comporte différentes variétés de marbres. Parmi les principales variétés, on distingue le «Cipolin vert moderne», le «Cipolin grand antique» (ressemblant au Cipolin d'Eubée), le «Cipolin vert rubané», un marbre blanc statuaire avec de rares veines grises (il fut comparé au marbre de Carrare!) et le «Portor suisse» ou «Turquin de Saillon». En cathodoluminescence, le marbre blanc qui est très fin présente une luminescence de couleur orangé-marron et d'intensité moyenne.

Ce matériau fut largement exporté et médaillé en 1878 à l'exposition universelle de Paris. Parmi les édifices où il a été fait emploi de «Cipolin antique» valaisan, il y a l'Opéra de Paris et l'église Saint-François-Xavier de Paris, l'église Notre Dame-de-Fourvière à Lyon, le grand Théâtre de Genève, le Palais fédéral à Berne, l'église du Sacré-Coeur à la Haye, l'Université d'Oxford, plusieurs

monuments de Londres (notamment le British Museum), etc. En 1894, du marbre fut même expédié à New-York, via Marseille, pour la construction du palais du fameux milliardaire américain M. Wanderbilt.

Des archéologues prétendent que ce marbre était déjà exploité dans l'Antiquité, mais il n'y a aucun argument pour étayer cette affirmation. Dans les commentaires de Jules César (De Bello Gallico, Cit. III), des marbres valaisans sont mentionnés, mais sans aucune autre précision.

Auteurs

Danielle Decrouez, Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Genève, 1 route de Malagnou, CP 6434, CH-1211 Genève 6, Suisse
et Karl Ramseyer, Institut für Geologie, Universität Bern, Baltzerstr. 1–3, CH-3012 Bern, Schweiz



Sculptures en marbre

«GRIECHISCHER MARMOR IST ZEITLOS SCHÖN» Interview: Robert Stadler

Griechische Marmore zählen zu den bekanntesten und beliebtesten Natursteinsorten auf dem Markt. Vor allem im gehobenen Innenausbau schätzen Architekten und Bauherren die meist hellen, oft reinweissen Materialien besonders. Ein Gespräch mit Marmorspezialist Georgios Daniil von der Firma Marm-Import im sanktgallischen Flawil.



Georgios Daniil wurde 1954 in Alexandropolis (Griechenland) geboren. Er kam 1980 in die Schweiz, wo er acht Jahre später in Flawil SG das Handelsunternehmen Marm-Import gründete. Das Unternehmen spezialisiert sich ausschliesslich auf den Vertrieb von griechischem Marmor. Wichtigste Handelssorten im Sortiment sind Thassos, Naxos, Pighes, Uranos, Ajax, Prinos und Volakas. Zum Angebot gehören vor allem Marmetten, Wand- und Bodenplatten in allen gängigen Formaten, ferner Statuen und Tierfiguren für den Wohnbereich sowie für den Garten- und Landschaftsbau.

In der Schweizer Natursteinbranche hat sich Georgios Daniil nicht nur als Marmorfachmann, sondern auch durch seine besondere Gastfreundschaft einen Namen gemacht. Sein alljährlicher «Griechischer Abend» in Flawil zählt inzwischen zu einem Höhepunkt des gesellschaftlichen Lebens in der schweizerischen Natursteinbranche. Daniils Philosophie: «Wir leben nur einmal, also sollten wir uns gegenseitig möglichst viel Freude machen». (sta)

NaturBauStein: Marmor aus Griechenland – da denkt man unwillkürlich an die Tempelbauten der Akropolis, an die Venus von Milos und andere weltberühmte Kunstwerke der Antike. Sie aber leben in der Gegenwart und handeln mit diesen Materialien. Was bedeutet Marmor für Sie?

Georgios Daniil: Auch bei mir verbinden sich mit Marmor zunächst die Schönheiten der Architektur und der Steinbildhauerei im alten Griechenland. Meine Vorfahren haben schon vor Jahrtausenden entdeckt, um welch edles Material es sich dabei handelt, welch besonderer Charme in ihm steckt. Marmor ist zeitlos schön; ich arbeite sehr gerne damit.

NaturBauStein: Bleiben wir noch ein wenig in der Vergangenheit. Was weiss man über die Gewinnung und Verarbeitung von Marmor bei den alten Griechen?

Georgios Daniil: Durch meine berufliche Tätigkeit habe ich mich natürlich auch ein bisschen mit der Geschichte des Marmors auseinandergesetzt. Zahlreiche Funde belegen die Marmoranwendung in der

griechischen Bildhauerkunst schon für die Zeit um 5000 v.Ch. In die Baukunst scheint das Material aber erst viel später integriert worden zu sein. Erst ab etwa 600 v.Ch. findet man es häufiger. Beispiele aus jener Zeit sind etwa der Tempel des Zeus in Olympia oder der Tempel des Apollon in Delphi. In der Regel wurden damals natürlich Marmore aus der nächsten Umgebung verwendet.

NaturBauStein: Wie erfolgte der Abbau?

Georgios Daniil: Die Steine wurden vermutlich schon damals mit Hilfe von Metallsägen und Sand in horizontalen und vertikalen Schnitten aus dem Fels heraus gelöst, so wie dies noch bis vor wenigen Jahrzehnten üblich war. Als weitere Hilfsmittel setzte man metallische Meissel ein. Nach dem Abbau wurden die Steine mit dem Hammer

grob bearbeitet, um so den Transport zu vereinfachen.

NaturBauStein: Wo befanden sich die grössten antiken Brüche?

Georgios Daniil: Thassos war wohl das bekannteste Marmorzentrum. Auf der Insel kann man noch heute Reste von Bergwerken aus allen Epochen sehen, selbst prähistorische. Zur Römerzeit war der Betrieb dieser Werke bereits sehr gut organisiert. Am Eingang gab es sogar Kasernen, in denen Soldaten wohnten, die zum Schutz des Bergwerkes und der beschäftigten Sklaven dienten. Grosse Marmorbergwerke bestanden auch in Attika, wo der weisse Penteli-Marmor gewonnen wurde.

NaturBauStein: Zurück in die Gegenwart. Wie steht es um die Marmorgewinnung heute?

Georgios Daniil: Die Marmorindustrie Griechenlands zählt zu den weltweit führenden, dies sowohl in Bezug auf die Produktions- als auch auf die Exportmenge. Man schätzt die Zahl der Betriebe auf etwa 4000. Es sind dies meist kleinere bis mittlere Unternehmen, doch gibt es auch ein paar Dutzend Grossbetriebe. Zu unterscheiden sind Steinbrüche, Steinverarbeitungswerke, Bidhauerwerkstätten und Handelsunternehmen oder Kombinationen aus diesen. Viele Betriebe sind heute technisch sehr gut ausgerüstet und in der Lage, Fertigprodukte wie Marmetten, Boden- und Wandplatten, Statuen, Tierfiguren, Grabsteine usw., aber auch Spezialanfertigungen aller Art, in hoher Qualität und

gar noch höher, dies deshalb, weil neben dem eigenen Material zunehmend auch Rohblöcke importiert, in Griechenland verarbeitet und dann oft wieder exportiert werden.

NaturBauStein: Wie lange reichen die Vorräte noch?

Georgios Daniil: Bezogen auf die heutigen Abbaumengen sind die Marmorreserven praktisch unerschöpflich. Jedenfalls sind sie noch für Tausende von Jahren gesichert. Ein Problem besteht allerdings in der Umweltproblematik und einem gewissen Interessenskonflikt mit dem Tourismus. Um das Problem zu entschärfen werden heute grosse



Thassos-Steinbruch, Griechenland

wirtschaftlich herzustellen. Die wichtigsten Produktionsstätten befinden sich heute in der Region Drama–Kavala–Thassos im Norden Griechenlands.

NaturBauStein: Wieviel Marmor wird in Griechenland gewonnen und verarbeitet?

Georgios Daniil: Die Abbaumenge beträgt etwa 2 Millionen Tonnen jährlich. Die Produktionskapazitäten sind mit 2,5 Millionen Tonnen

Anstrengungen unternommen, um aufgelassene Steinbrüche wieder zu rekultivieren. Zudem sind die neuen Abbautechniken sehr umweltschonend.

NaturBauStein: Der Handel mit griechischem Marmor ist Ihr tägliches Brot. Wie verkaufen sich diese Materialien in der Schweiz?

Georgios Daniil: Das nationale und internationale Angebot an Natursteinen ist in der Schweiz ausserordent-

lich vielseitig. Unter den mehreren hundert auf dem Markt erhältlichen Handelssorten befinden sich nur ein paar Dutzend griechische. Aufgrund ihrer hohen Qualität sind diese aber sehr beliebt. Der Natursteinmarkt in der Schweiz ist zwar hart umkämpft, aber mit der Absatzentwicklung bin ich zufrieden.

NaturBauStein: Worauf muss ein Architekt oder Bauherr bei der Auswahl und Anwendung von griechischem Marmor besonders achten?

Georgios Daniil: Wichtig ist vor allem ein perfekter Finish und eine der Anwendung entsprechende Marmorqualität. Da gibt es nämlich erhebliche Unterschiede. Marmor ist eben nicht immer gleich Marmor...

NaturBauStein: Bei einzelnen Marmorarten kennt man das Phänomen der Gelbverfärbung. Kommt dies auch beim griechischen Marmor vor?

Georgios Daniil: Gelbverfärbungen hängen mit dem in einzelnen Sorten eingebundenen Pyrit zusammen. Griechische Marmore enthalten jedoch kein Pyrit, deshalb sind Gelbverfärbungen bei unseren Materialien kein Thema.

NaturBauStein: Bei Aussenfassaden aus Marmor ist es schon zu Verbiegungen der Verkleidungsplatten gekommen. Ein Problem?

Griechenland: Sieben Prozent des Weltbedarfs

Griechenland ist hinter Italien, Spanien und Portugal der viertwichtigste Natursteinproduzent Europas. Betrachtet man nur das Segment Marmor, so steht das Land hinter Italien gar an zweiter Stelle weltweit. Letztes Jahr erzielte die griechische Marmorwirtschaft mit ihren rund 60 000 Beschäftigten einen Gesamtumsatz von zirka 1 Milliarde Euro. Für das kleine Griechenland mit seinen 9,5 Millionen Einwohnern ist der Export von Marmor und Marmorprodukten (ca. 270 000 Tonnen Produkte im Jahr 2001) ein wichtiger Wirtschaftsfaktor.

Nach einem Bericht in der Fachzeitschrift STEIN deckt heute Griechenland rund 7 Prozent des weltweiten Marmorbedarfs. Wichtigste Märkte sind China, die EU-Länder, die USA und die arabischen Länder. Sehr bedeutend ist aber auch der Heimatmarkt, spielt Marmor beim Bauen in Griechenland doch auch heute noch eine herausragende Rolle. Man hat ausgerechnet, dass Griechenland pro Kopf weltweit am meisten Naturstein «konsumiert» – übrigens knapp vor der Schweiz, die an zweiter Stelle liegt. Besonders die Bauten im Zusammenhang mit den olympischen Sommerspielen 2004 in Athen haben der Industrie grosse Aufträge beschert.

Wer sich ausführlicher über griechischen Marmor informieren möchte, dem sei ein Internet-Besuch unter www.marble.gr empfohlen. Unter dieser Adresse findet man übersichtliche Darstellungen über die verschiedenen Marmorvorkommen in den einzelnen Landesteilen mit Materialbezeichnungen, Mustern und weiteren nützlichen Angaben. (sta)

Georgios Daniil: Nein, bei fachgerechter Dimensionierung und Anwendung tritt dieses Phänomen bei unserem Marmor nicht auf. Wie bei allen anderen Natursteinanwendungen auch, ist es aber wichtig, dass sich Architekten und Bauherren bei Problemlösungen immer an ein anerkanntes Fachunternehmen wenden. Es lohnt sich.

Interview: Robert Stadler



Pighes Steinbruch, Griechenland