

## Verwitterung und Konservierung von Marmor auf Friedhöfen



Abb. 1 Alter Südlicher Friedhof München, Beispiel für intakte Oberfläche und schwarze biologische Besiedlung, Carrara Marmor



Abb. 2 Alter Südlicher Friedhof München, Grabmal Albert, Beispiel für Aufrauung der Oberfläche, Laaser Marmor

Marmor ist auf Deutschlands Friedhöfen ein beliebtes Material für die Gestaltung von Grabmälern. Auch wenn es in Deutschland kaum Marmorvorkommen gibt, so hat doch der Import aus Italien zu einer weiten Verbreitung dieses Materials geführt. Anders als in den mediterranen Ländern ist Marmor jedoch unter den klimatischen Beanspruchungen in Mitteleuropa und in Deutschland kein verwitterungsbeständiges Material. Oftmals sind gravierende Schäden die Folge der ständigen Belastungen durch sauren Regen, Frost und Umweltschadstoffe.

### Beispiele für die Verwitterung von Marmor

An Beispielen des Alten Südlichen Friedhofs in München lassen sich die Stadien der Verwitterung von Marmor sehr gut nachvollziehen. Nur wenige Grabmäler besitzen noch intakte Oberflächen, welche die Politur aus der Zeit der Aufstellung des Grabmals aufweisen. An den regenexponierten Stellen hat sich in vielen Fällen eine schwarze, durch biologischen Bewuchs entstandene dünne Kruste gebildet (Abb. 1). Durch die Auflösung von Kalzit im sauren Regenwasser beginnt die Aufrauung

der Oberfläche sehr schnell. Wenn die angeschliffenen Körner an der Oberfläche weggelöst sind, tritt die körnige Struktur des Marmors deutlich in Erscheinung. Er verliert sein typisches Erscheinungsbild und ist in dieser Form leicht mit anderen Gesteinen zu verwechseln (Abb. 2).

Anders als an den regenexponierten Stellen bilden sich in den regengeschützten Bereichen schwarze, durch Gips bestimmte Krusten, die schon im 19. Jahrhundert mit Beginn der Industrialisierung stark angewachsen sind. Weil diese Krusten jedoch keine Schutzfunktion übernehmen, sondern im Gegensatz verstärkt Luftschadstoffe absorbieren, verläuft die Verwitterung unter der Kruste mit nahezu unverminderter Geschwindigkeit weiter und führt im Endstadium zu einer völligen Zerrüttung des Gefüges (Abb. 3).

Aufgrund von starken Eigenspannungen, verursacht durch Temperatur und Feuchtigkeit, beginnt die Kruste zunächst an hervorstehenden Teilen wie Gewandfalten oder im Gesicht aufzuplatzen, wodurch das bereits stark geschwächte Marmorgefüge freigelegt wird. Die gelockerten Kristalle können nun nach und nach herausfallen. In der Fachsprache wird dieser Schadensprozess als Absanden bezeichnet, dessen Ausmaß mit der



*Abb. 3 Alter Südlicher Friedhof München, Beispiel für zuckerkörnigen Zerfall und völlige Gefügezerstörung von Carrara Marmor*

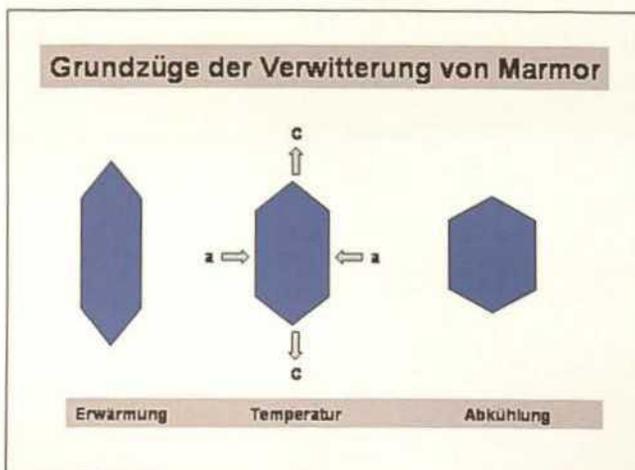


Abb. 4 Alter Südlicher Friedhof München, Beispiel für tief eingedrungene Verschmutzung, die durch Reinigung nicht entfernt werden kann

Zeit zunimmt. An vielen Stellen kann man als Folge dieses Prozesses abstehende schwarze Krusten beobachten, welche nur noch wenig Verbindung zum Gestein aufweisen. Im Endstadium fallen auch die letzten Reste der schwarzen Kruste ab. Das aufgelockerte Gefüge verliert ständig weiterhin eine Kornlage nach der anderen, so dass schließlich von Reliefs und Plastiken nur noch unförmige Umrisse bestehen bleiben. Würde man an solchen Stellen beginnen, mit der Hand zu reiben, so ließe sich mühelos der gesamte Marmor in losen Sand verwandeln.

Die schwarze Farbe der Krusten wird durch Ruß und andere Umweltschadstoffe verursacht, die auch in den darunter liegenden Marmor eindringen. Die Entfernung dieser tief sitzenden Verschmutzungen ist aber aus denkmalpflegerischen Grundsätzen nicht zu verantworten, weil eine derart gründliche Reinigung zwangsläufig den Verlust der künstlerisch gestalteten

Abb. 5 Anisotrope thermische Ausdehnung des Kalzitkristalls



BAYERISCHES LANDESAMT  
FÜR DENKMALPFLEGE

Oberfläche zur Folge hätte. Nach der Reinigung werden deshalb immer dunkle Verfärbungen zurückbleiben, welche leider das optische Erscheinungsbild beeinträchtigen, aus konservatorischer Sicht aber unbedenklich sind (Abb. 4).

### Grundzüge der Verwitterung von Marmor

Der wesentliche Parameter für die Verwitterung von Marmor ist der Kalzitkristall selber. Kalzit hat die interessante Kristalleigenschaft, sich bei Erwärmung entlang der C-Achse des Kristalls auszudehnen, während es senkrecht dazu in Richtung der A-Achse zu einer Kontraktion kommt (Abb. 5). Dieses anisotrope Dehnverhalten führt zu beträchtlichen Spannungen innerhalb des Marmorgefüges. Während bei einem frischen Marmor alle Korngrenzen dicht beieinander liegen, sind sie bei einem verwitterten Marmor bisweilen weit auseinander gerückt. Die zunehmende Porosität ermöglicht es Regen und Schadstoffen, tief in das Innere des Gesteins einzudringen. Wie oben bereits geschildert, ist das Endstadium der Verwitterung von Marmor ein zuckerkörniger Zerfall, bei dem die Körner so weit auseinander gerückt sind, dass sie ihren gegenseitigen Halt verloren haben.

Die Gefügelockerung ist dann besonders stark, wenn sich thermische Beanspruchungen mit Feuchtigkeitswechseln verbinden. In Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass bei trockenem Aufheizen und Abkühlen die Dehnung der Prüfkörper nach wenigen Zyklen zum Stillstand kommt. Führt man die thermischen Zyklen dagegen mit feuchten Proben durch, so setzte sich die Aufweitung des Gefüges ungehindert bis zum Ende der Versuchszyklen fort. Die erreichten Dehnbeträge betragen das 2,5 bis 3-fache der Dehnung bei trockenen Temperaturwechseln.

### Ultraschallmessungen

Aufgrund der gravierenden Gefügeveränderungen eignet sich Marmor sehr gut, das Ausmaß der Verwitterung mit Hilfe der Ultraschallgeschwindigkeit festzustellen. Im unverwitterten Zustand besitzt Marmor eine Ultraschallgeschwindigkeit von 5,0–6,5 km/s. Dieser Wert sinkt bei extremer Gefügezerstörung unter 1,5 km/s. Kein anderes Gestein zeigt ein derart großes, von der Verwitterung abhängiges Geschwindigkeitsintervall. Bei Ultraschallgeschwindigkeiten zwischen 2 und 3 km/s beginnt das Ausmaß der Gefügezerstörung, den Bestand des Objekts ernsthaft zu gefährden. In solchen Fällen sind sofort Konservierungsmaßnahmen einzuleiten.

### Möglichkeiten der Festigung von Marmor

In den meisten Fällen wird die Konservierung von Marmor mit Acrylharzlösungen durchgeführt. Einige Restauratoren propagieren jedoch auch die Anwendung von Kieselsäureestern, die sich bei Sandsteinen sehr bewährt haben. In Fällen von besonders gravierender Gefügezerstörung wird die Acrylharzvolltränkung mit PMMA (AVT) befürwortet. Obwohl auch am Alten Südlichen Friedhof in München, wie auf zahlreichen anderen Friedhöfen weltweit, Kunstharzlösungen zur Festigung von Marmor angewendet wurden, liegen Zustandsanalysen über Erfolg und Dauerhaftigkeit der Maßnahmen in Form von nachvollziehbaren Messungen wie zum Beispiel Ultraschall nicht vor. Der Verfasser ist deshalb gezwungen, bei der Auswertung auf andere Beispiele zurückzugreifen.

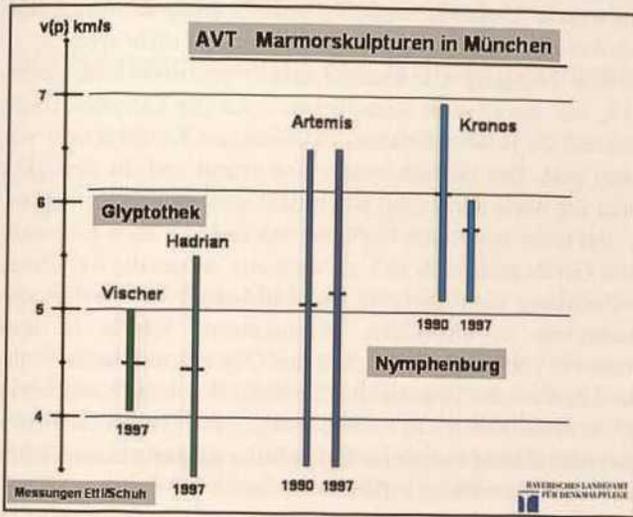


Abb. 6 Ergebnisse der Ultraschallmessungen von Labor Dr. Ettl/Dr. Schuh an Figuren der Glyptothek und von Schloss Nymphenburg in München



Abb. 8 Ultraschallmessungen durch Ettl und Sobott (1999) an zwei ausgewählten Köpfen in den Reliefs 3 und 4 von Siegestor in München

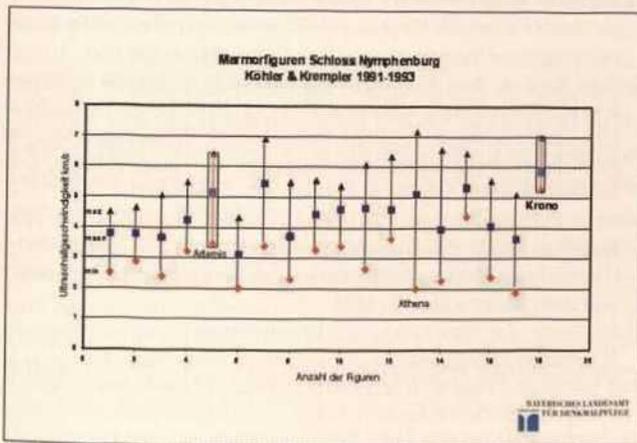


Abb. 7 Ergebnisse der Ultraschallmessungen von Labor Köhler an den Figuren im Schlosspark von Schloss Nymphenburg in München

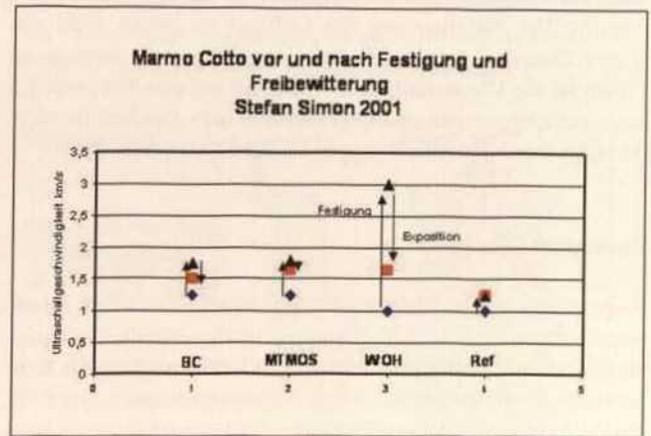


Abb. 9 Ultraschallmessungen an Probekörpern aus Carrara-Marmor, die mit verschiedenen Materialien gefestigt wurden. Abgebildet sind die Werte vor der Festigung, direkt nach der Festigung und nach einem Jahr Freilandexposition.

An zwei Objekten in München gibt es Erfahrungen mit der Acrylharzvolltränkung bei Marmor: die Nischenfiguren der Glyptothek am Königsplatz und zwei Parkfiguren im Parterre von Schloss Nymphenburg. Die Nischenfiguren in der Glyptothek am Königsplatz wurden in den Jahren zwischen 1983 und 1985 getränkt. Sie wiesen neben kriegsbedingten Schäden starke Gefügestörungen auf, so dass eine Behandlung vor Ort mit Acrylharzlösungen nicht vertretbar erschien. Im Jahr 1997, im Vorfeld der Entscheidung, ob zwei der großen Marmorreliefs vom Siegestor ebenfalls durch die Acrylharzvolltränkung konserviert werden sollten, konnten vom Labor Dr. Ettl/Dr. Schuh Ultraschallmessungen an zwei der Nischenfiguren, Peter Vischer und Hadrian, durchgeführt werden.<sup>1</sup> Die Messergebnisse zeigen für beide Figuren nach über 10 Jahren sehr gute Mittelwerte um 4,5 km/s. Bei der Figur des Hadrian streuen die Messwerte stärker. Der Minimalwert liegt bei 3,5 km/s, der Maximalwert bei 5,5 km/s. Damit zeigen alle Messwerte einen guten Zustand des Marmors an (Abb. 6). (Bedauerlicherweise gibt es aus den Jahren 1983–1985 unmittelbar nach der Acrylharzvolltränkung keine Vergleichswerte, weil damals das Ultraschallmessverfahren noch nicht in die Konservierungswissenschaften eingeführt war.)

Im Schlosspark Nymphenburg haben in den Jahren 1991–1993 Köhler und Krempler im Auftrag der Bayerischen Schlösserver-

waltung alle Marmorfiguren mit Ultraschall vermessen.<sup>2</sup> Zu diesem Zeitpunkt waren Artemis und Kronos bereits durch eine Acrylharzvolltränkung konserviert. Bei den unbehandelten Figuren ist weniger der Mittelwert der Ultraschallgeschwindigkeit bedenklich als vielmehr die Minimalwerte, die bei fünf Figuren nahe an der kritischen Schwelle von 2 km/s liegen. Die mit Acrylharz getränkten Figuren der Artemis und des Kronos liegen sowohl hinsichtlich der Mittelwerte als auch bei den Maximalwerten im Spitzenfeld der Figuren (Abb. 7). Die Nachmessungen durch Ettl und Schuh im Jahr 1997 an diesen beiden Figuren haben ergeben, dass seitdem praktisch keine Änderungen eingetreten sind (Abb. 6). An den identisch nachgemessenen Stellen sind bei der Artemis Mittelwert, Minimal- und Maximalwert gleich geblieben, bei Kronos scheint der Maximalwert, welcher von Köhler und Krempler unglaublich hoch nahe 7,5 km/s bestimmt wurde, um rund 1 km/s auf nahe 6 km/s pro Sekunde abgenommen zu haben.

#### Beispiel für die Festigung von Marmor vor Ort

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit den genannten Beispielen für Acrylharzvolltränkung wurde beschlossen, zwei besonders stark geschädigte Reliefs am Siegestor in München mit

Hilfe der Acrylharzvolltränkung zu konservieren. An anderen Reliefs zeigten die Ultraschallmessungen in weiten Bereichen befriedigende bis gute Werte. Dennoch traten bei den Reliefs an einigen, besonders dem Regen ausgesetzten Stellen starke Schäden hervor, die sich in extrem niedrigen Ultraschallgeschwindigkeiten widerspiegelten (Abb. 8).

Als Beispiele können je ein Kopf eines Kriegers in Relief 3 und Relief 4 herangezogen werden. Beide Köpfe zeigten im Jahr 1994 vor der Konservierung dramatisch niedrige Ultraschallgeschwindigkeiten um 1,4 km/s. Durch die Tränkung mit Acrylharzlösungen direkt am Relief war es möglich, die Ultraschallgeschwindigkeit um 0,5 bis 1 km/s zu verbessern, was sich mit den allgemeinen Erfahrungen deckt. Kontrollmessungen dieser Bereiche im Jahr 2003 zeigten, dass sich die Ultraschallgeschwindigkeiten seit 1996 nicht verändert hatten. Der Konservierungserfolg ist demnach gleich geblieben, wenn auch auf sehr niedrigem Niveau.

Bei der Festigung mit Kieselsäureester zeigt sich im Vergleich zu einer Behandlung mit Polymerlösungen ein anderes Verhalten.<sup>3</sup> Unmittelbar nach der Tränkung mit Kieselsäureester wird durch das frische Kieselsäuregel eine erstaunliche Erhöhung der Ultraschallgeschwindigkeit von 1,5 km/s auf 3 km/s erreicht. Die Stabilisierung des Gefüges ist jedoch nicht von langer Dauer. Bereits nach einer einjährigen Exposition im Freien ist die Ultraschallgeschwindigkeit auf den Wert von 1,5 km/s zurückgegangen und liegt damit in dem gleichen Bereich, der auch durch Polymerlösungen erreicht wird (Abb. 9).

## Zusammenfassung

Konservierungsmaßnahmen an Marmor direkt vor Ort mit Kunstharzlösungen sind nur Erfolg versprechend, wenn die Gefügelockerungen nicht tiefer als 5 mm in das Gestein reichen. Als Konservierungsmittel empfehlen sich Acrylharzlösungen, wie z. B. Paraloid B72 oder Motema Produkte. Zur Hydrophobierung kann der Lösung MTMOS oder ein anderes Hydrophobierungsmittel zugesetzt werden. Da die Tränkungen mit den Kunstharzlösungen mehrfach vorgenommen werden müssen, ist zu raten, die Hydrophobierung erst den zwei bis drei letzten Tränkungen beizugeben.

Vergleicht man die mit Kunstharzlösungen erreichbaren Verbesserungen der Ultraschallgeschwindigkeiten von frischem Marmor oder mit den Werten, die bei einer Acrylharzvolltränkung erzielt werden können, so wird deutlich, dass die Festigung mit Kunstharzlösungen vor Ort nur eine oberflächliche,

das weitere Absanden verzögernde Behandlung sein kann. Eine substantielle Verbesserung des Marmors wird nicht erreicht.

Eine Festigung mit Kieselsäureester erscheint nicht dauerhaft, weil das alternde Kieselgel sich von der Kalzitoberfläche löst und die Brückenfunktion zwischen den Kalzitkörnern verloren geht. Das Gefüge lockert sich erneut und die Festigkeit sinkt auf Werte ab, die mit Kunstharzlösungen erreicht werden.

Bei tiefer reichender Gefügezerstörung, die auch eine statische Gefährdung nach sich ziehen kann, ist nur die Acrylharzvolltränkung als dauerhafte und nachhaltige Konservierungsmaßnahme zu empfehlen. Voraussetzung hierfür ist aber einerseits die Transportfähigkeit des Objektes und andererseits der künstlerische bzw. historische Wert. Wertvolle Kunstwerke sollen deshalb nach wie vor wegen der Irreversibilität der Acrylharzvolltränkung von dieser Behandlung ausgenommen bleiben und in den Innenraum verbracht werden.

## Literaturverzeichnis

- Hans ETTL u. Robert SOBOTT, Ultraschallmessungen an in-situ konservierten Marmorreliefs des Siegestors in München, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, 1999, Heft 13 (1), S. 92–102.
- Wolfram KÖHLER, Zwei Marmorskulpturen im Park zu Schloss Nymphenburg in München; in: 1. Ultraschallworkshop 23.–25.10.1989, WTZ Abkommen Bundesrepublik – DDR, Teilprojekt 25: Bausteinkorrosion und Steinkonservierung, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Zentrallabor, München 1989.
- Wolfram KÖHLER u. Michael KREMLER, Ultraschallmessungen an Parkskulpturen und Ziervasen aus Marmor in Schlosspark zu Nymphenburg, Untersuchungsbericht für die Bayerische Verwaltung der Staatlichen Schlösser, Gärten und Seen, 1993.
- Stefan SIMON, Zur Verwitterung und Konservierung kristallinen Marmors, Dissertation Ludwig Maximilians Universität München 2001.
- Rolf SNETHLAGE, Hans ETTL u. Ludwig SÄTTLER, Ultraschallmessungen an PMMA-getränkten Marmorskulpturen, in: Zeitschrift Deutsche Geologische Gesellschaft, Heft 150/2, Stuttgart 1999, S. 387–396.

<sup>1</sup> Siehe SNETHLAGE et al., Ultraschallmessungen, 1999.

<sup>2</sup> KÖHLER u. KREMLER, Ultraschallmessungen, 1993.

<sup>3</sup> Siehe SIMON, Zur Verwitterung, 2001.

## Abbildungsnachweis:

Abb. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 Rolf Snetlage; Abb. 7 aus Köhler und Kremler, Ultraschallmessungen, 1993; Abb. 9 aus Simon, Zur Verwitterung, 2001.

## Abstract

### The Deterioration and Conservation of Marble used at Cemeteries

Marble as a stone material for burial monuments and tombstones became very popular when transport facilities and availability of Italian marbles rapidly improved from the middle of the 19<sup>th</sup> century onwards. The example of the Alte Südfriedhof in Munich clearly demonstrates that deterioration of marble is determined by climatic impact and air pollution. Deterioration starts with a roughening of the surface, followed by the formation of black crusts in protected areas. It finally may lead to a total destruction of the marble as evidenced by intense sugar like sanding of the surface. It is known that the thermal anisotropic behavior of calcite is a decisive parameter for deterioration of marble. Expansion and

contraction of the calcite crystals due to temperature cycles cause a loss of cohesion of the grain structure which is additionally enhanced by changing moisture content in the material. Destruction of marble can be assessed by measuring the ultrasonic velocity which may drop from 5–6 km/s for fresh marble down to less than 2 km/s in the case of very weathered marbles. In the case of Carrara marble the rate of destruction is proportional to square root of time law.

In laboratory as well as field experiments the application of various strengthening materials only proved successful when the depth of deteriorated surface layer did not exceed 5 mm. On the other hand the acrylic full impregnation carried out by Ibach Stone Conservation did not show significant reduction of effectiveness over more than 20 years. Examples from Königsplatz and Schloss Nymphenburg in Munich are presented. The criteria for using either method are discussed.