

**NATÜRLICHE GESTEINE ALS SENSORMATERIALIEN ZUR ERFASSUNG VON  
UMWELTEINFLÜSSEN AUF BAUDENKMÄLER**

von

**Thomas Bidner**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der  
Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Innsbruck

Institut für Mineralogie und Petrographie  
Innsbruck, Dezember 2003

Die Erhaltung historischer Denkmäler als Zeugen unseres kulturellen Erbes ist eine Aufgabe, die in ihrer Komplexität nur in der Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen zu bewältigen ist. In den kommenden Jahren wird der sorgsame Umgang mit den verfügbaren finanziellen Reserven einen stetig steigenden, zentralen Stellenwert innerhalb der Aktivitäten zum Schutz und zur Erhaltung historischer Denkmäler einnehmen. Dies bedeutet, daß neben der weiterführenden Arbeit zur Entwicklung verbesserter Methoden zur Konservierung und Restaurierung kultureller Güter, die auf dem wachsenden Verständnis grundlegender Prinzipien und Mechanismen der Materialzerstörung beruhen muß, die Dokumentation und das Management der Kulturgütererhaltung verstärkte Aufmerksamkeit erhalten müssen. Prioritätenlisten, basierend auf interdisziplinärer wissenschaftlicher Dokumentation, sollen die Verantwortlichen für die Erhaltung von Kulturgütern in ihrer Entscheidung unterstützen, wo, wann und wie konservierende und / oder restaurierende Eingriffe an Denkmälern zu setzen sind. Die sorgfältige Beobachtung von Umwelteinflüssen und der daraus resultierenden Schadensentwicklung ist ein essentieller Teil einer vorausschauenden Erhaltungsstrategie, eine Anforderung die häufig aufgrund der damit im Allgemeinen verbundenen hohen Kosten nicht realisierbar ist.

Das "in-situ Monitoring" mittels Sensormaterialien stellt den Versuch einer neuen Annäherung an diese Forderung dar. Für Metall und Glas sind entsprechende Monitoring-Systeme bereits etabliert. Auch für den Einsatz von Natursteinen liegt bereits eine VDI-Richtlinie vor (VDI-Richtlinie 3955, Blatt 3) in der Anwendungsempfehlungen für den Einsatz von Baumberger Sandstein als Schadstoffdetektor zusammengefaßt sind. In Ergänzung zu bestehenden Ansätzen, die von der Reaktion der Materialien auf belastende Einflüsse ausgehen und den Zustand der Materialien als grundlegende Bewertungskategorie erfassen, und in Anlehnung an die angeführten Richtlinien, versteht sich der vorliegende Ansatz als Versuch, den Dokumentationsanspruch über die Beobachtung (Monitoring) exogener Faktoren zu erweitern.

Sensoren aus natürlichen Materialien detektieren im Gegensatz zu den apparativen Meßsystemen Umwelteinflüsse in Summe. Diese Einflüsse verändern die Eigenschaften des Materials und sind über die Bestimmung bestimmter Parameter summarisch zu erfassen.

Die analytische Behandlung ist vergleichsweise einfach, die Anwendung kostengünstig und die Sensoren sind an verschiedenen Stellen eines Bauwerkes zu befestigen. Die große Schwierigkeit besteht darin jene Parameter festzulegen, die am Besten geeignet sind, die Umwelteinflüsse zu charakterisieren. Freilandexperimente an verschiedenen Standorten unter möglichst gut definierbaren, aber jeweils unterschiedlichen, Umweltbedingungen stellen einen möglichen Ansatz dar, um eine Unterscheidung zwischen zumindest einigen der relevanten Parameter oder zumindest Parametergruppen zu erreichen. Diesem Ansatz folgen auch die im Rahmen der gegenständlichen Dissertation durchgeführten Untersuchungen.

In Anlehnung an bereits erfolgte Vorarbeiten (FIMMEL, 1996) wurde für die Exposition der Proben von Laaser und Sterzinger Marmor, sowie Baumberger und Obernkirchner Sandstein, eine Ausbringung auf Mank'schen Karussellen gewählt.

Auf den Trägergerüsten können die Proben auf frei drehbar aufgesetzten Karussellen sowohl nass, also dem Regen ausgesetzt, wie auch trocken, das heißt vor direkter Beregnung geschützt, exponiert werden. Pro Auslageposition (nass / trocken) können jeweils 4 Karusselle mit je 9 Proben so bestückt werden, dass eine möglichst freie, durch die übrigen Proben möglichst wenig behinderte Bewitterung aller exponierten Proben möglich ist.

Aus einheitlichen Blöcken der vier verwendeten Gesteine wurden Plättchen mit den Maßen 5 x 5 x 1 cm geschnitten, im Ultraschallbad gereinigt und bei 105°C bis zur Massekonstanz getrocknet. Ein Teil der Plättchen wurde als Nullprobe zurückbehalten, die übrigen wurden auf den Stationen exponiert. Von jeder Gesteinsart wurden pro Station und Auslage (naß / trocken) jeweils 9 Proben ausgebracht. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl von 216 Proben. Die Exposition startete im September 1997, nach 9 und 22 Monaten wurden die Proben für Untersuchungen in das Labor gebracht. Nach der ersten Expositionsreihe von 9 Monaten wurden an allen Proben Massebestimmungen und Ultraschalluntersuchungen vorgenommen, an allen Marmorproben Messungen der Oberflächenfarbe und von allen Gesteinen von jeder Station und Auslage wurden jeweils 2 Proben für weiterführende Untersuchungen im Labor behalten (Ionenchromatographie, Sorptionsisothermen), die verbliebenen Plättchen wurden wieder exponiert. Nach 22 Monaten wurden alle Proben in das Labor geholt und nach den Untersuchungen als Rückstellproben verwahrt.

Der Auswahl der Standorte lag die Überlegung zugrunde, möglichst große Unterschiede im Hinblick auf die Umweltparameter, sowohl betreffend den klimatischen Einfluss wie auch die anthropogen induzierten Schadstoffe, zu erreichen.

In Anlehnung an die bereits zitierten Vorarbeiten (FIMMEL, 1996) wurden auch für die vorliegende Studie die Stationen in Obergurgl, als relative Reinluftstation, sowie die stärker mit Schadstoffen belasteten urbanen Standorte Innsbruck-Fallmerayerstraße und am Dach des Universitätsgebäudes in Innsbruck, Bruno-Sander-Haus, Innrain 52, genutzt.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass eine Kombination von feinkörnigen Marmoren (wie z.B. dem Laaser Marmor) und verwitterungsempfindlichen karbonatisch gebundenen Sandsteinen (Baumberger) geeignet ist, über die Masseänderung an trocken und nass exponierten Proben die Umweltbedingungen sowohl an stark als auch an gering mit Schadstoffen belasteten Standorten integral zu erfassen.

Die Untersuchungen zum Aufnahmeverhalten hinsichtlich der vorrangig interessanten Schwefel- und Stickstoffverbindungen haben gezeigt, dass der Baumberger Sandstein die jeweils höchsten Sulfat- und Nitratgehalte aufweist. Außerdem war es möglich, mit diesem Gestein auch einen signifikanten Anstieg der Chloridgehalte nachzuweisen.

Die vorliegenden Daten zeigen, dass es möglich ist, die drei unterschiedlichen Standorte im Vergleich der Sulfatgehalte zu unterscheiden. Bei gleichzeitiger Anwendung eines karbonatisch gebundenen Sandsteines (Baumberger) und eines quarzitisches gebundenen (Obernkirchener), ist es weiterhin möglich zwischen exogen eingetragenem Sulfat und an der Rezeptoroberfläche karbonatischer Materialien durch Reaktion mit den S-Verbindungen entstandenes Sulfat zu unterscheiden.

Für den Nitratgehalt, als Indikator für den Eintrag von Stickstoffverbindungen über die Luft, ist mittels des Baumberger Sandsteines eine klare Unterscheidung zwischen stärker (urbaner Zentralbereich Innsbruck) und schwächer (alpiner Bereich in Obergurgl) belasteten Standorten möglich.

Die durchgeführten Untersuchungen konnten zeigen, dass insbesondere die Kombination eine sensibel auf Umweltbelastungen reagierenden Kalksandsteines mit einem vergleichsweise widerstandsfähigen quarzitisches gebundenen Sandstein eine gute Erfassung und Auftrennung der Belastung unterschiedlicher Standorte mit Schwefel-, Stickstoff und Chlorverbindungen möglich ist und damit eine Methode zur Überwachung sensibler Baudenkmäler zur Verfügung steht.

FIMMEL, R. (1996): Verwitterungsverhalten der alpinen Marmore von Laas und Sterzing. – Dissertation am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, 116 Seiten, 7 Anlagen.

VDI-Richtlinie 3955, Blatt 3 (2000): Bestimmung der korrosiven Wirkung komplexer Umgebungsbedingungen auf Werkstoffe. Exposition von Naturstein-Plättchen (Manksches Karussell) – Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN-Normenausschuss, Fachbereich Umweltqualität, Ausschuss Wirkung auf Werkstoffe, VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1 a, 24 Seiten