

## Neogene Bau- und Dekorgesteine – charakteristische Schadensbilder und Schadensursachen

Andreas Rohatsch

Die Vielfältigkeit der Verwitterungserscheinungen spiegelt sich in den häufig auftretenden Schadensbildern der Gesteine wider. Besonders reichhaltig treten diese Schadensbilder bei den häufig stark porösen neogenen Kalksandsteinen auf, die in Ostösterreich im Bauwesen und in der bildenden Kunst sehr intensiv verwendet wurden.



Abb. 1: Ein häufig zu beobachtender Zustand bei neogenen Kalksandsteinen sind Fehlstellen, Krustenbildung, Verschmutzung, Risse, etc. (neugotische Gruftanlage aus St. Margarether Kalksandstein am Wiener Zentralfriedhof).

Schadensbilder, wie vor allem Krustenbildung, Absanden, Rissbildung durch Frostsprengung und durch die allgegenwärtigen leichtlöslichen Mauersalze, die durch Kristallisations- und Hydratationsdruck zur Gefügauflockerung dieser Sandsteine führen, sind an nahezu allen im Freien aufgestellten Objekten zu beobachten. Die genannten und in den nachfolgenden Abschnitten dargestellten Schadensbilder sind Resultate der gemäßigt feuchten klimatischen Rahmenbedingungen mit häufigen Frost-Tauwechselbeanspruchungen Österreichs.

## Einfluss der Temperatur

Alle Materialien dehnen sich auf Grund erhöhter Molekularbewegung bei Erwärmung aus, so auch der Naturstein. Der starke Einfluss von zyklischer thermischer Wechselbeanspruchung durch Sonneneinstrahlung und nächtlicher Abkühlung ist in ariden Wüstengebieten ein altbekanntes Phänomen, welches zu Kernsprüngen und +/- oberflächenparallelen Abschaltungen an Gesteinen führt (Scherspannungen zwischen erhitzter Hülle und kühlem Kern). Vergleichbar im Schadensbild sind auch die Brandschäden an Bauwerken. Temperaturunterschiede von  $-20^{\circ}$  bis  $+30^{\circ}\text{C}$  in unseren Breitengraden im Jahresgang sind nichts Außergewöhnliches, an stark exponierten dunklen Flächen konnten Spitztemperaturen bis zu  $60^{\circ}\text{C}$  gemessen werden. Da sich Gesteine bei Erwärmung deutlich messbar ausdehnen und bei Abkühlung zusammen ziehen, kommt es durch diese Bewegung zum Aufbau von Spannungen im Gefüge, die zu einer Lockerung der Kornbindung führen können. Die primäre Schädigung durch Temperaturwechselbeanspruchung ist bei porösen Gesteinen im Vergleich zu dichten vergleichsweise gering, da ein Teil der Bewegungen mehr oder weniger schadlos in die Porenräume abgeführt werden kann.

Die in nachfolgender Tabelle angeführten Richtwerte müssen sehr kritisch betrachtet werden, da textuelle Eigenschaften der Gesteine, wie Schieferung, sedimentäre Schichtung, Vorzugsorientierung von Mineralen, etc. und das daraus resultierende anisotrope Materialverhalten nicht berücksichtigt wurden.

Tab. 1: Richtwerte für Ausdehnungskoeffizienten (in mm/m bei Temperaturerhöhung um  $30^{\circ}\text{C}$ ) einiger Materialien (aus: TORRACA & WEBER, 1986) ohne Berücksichtigung der jeweiligen textuellen Eigenheiten, wie sedimentäre Schichtung oder Schieferung, die sich auch in der thermisch induzierten Dilatation niederschlagen.

Marmor	0,15 mm
Zementbeton	0,3 - 0,4 mm
Kalkstein	0,15 mm
Granit	0,25 mm
Kalksandstein	0,3 - 0,4 mm
Ziegel	0,15 - 0,2
Eisen	0,3 mm
Glas	0,3 mm
Aluminium	0,7 mm

## Einfluss der Feuchtigkeit

Von wesentlich größerer Bedeutung für Verwitterungsprozesse in unserem Klima ist das Wasser, der mit schwachen Säuren belastete Niederschlag, aufsteigende Bodenfeuchte, etc. Auf Grund der im Mauerwerk in den Porenräumen zirkulierenden, angesäuerten (z.B. Kohlensäure, Schwefelsäure, etc.) Feuchtigkeit kommt es zu

chemischen Lösungsprozessen, die im Bereich der Verdunstungsflächen häufig zu Krustenbildung führen. Im Großstadtbereich mit hoher  $\text{SO}_2$ -Belastung bestehen diese Krusten meist aus Gips, der durch Russ- und Staubpartikel schwarz gefärbt ist. Bei fehlender  $\text{SO}_2$ -Belastung ist der Niederschlag mit Kohlensäure angereichert, bei den aus der chemischen Umsetzung resultierenden Krusten handelt es sich dann um Kalkkrusten. Da jedoch nicht alle beobachtbaren Krusten tatsächlich solche sind, die aus den beschriebenen chemischen Prozessen entstanden sind, sondern auch Verfärbungen, die durch mikrobiologische Aktivität gebildet wurden, empfiehlt es sich, geomikrobiologische Überlegungen in die Untersuchungen mit einzubeziehen (siehe Beitrag STERFLINGER & SERT). Charakteristische Krustenprofile mit dem Festigkeitsabfall hinter der Kruste wurden erstmals von KIESLINGER (1932) beschrieben.

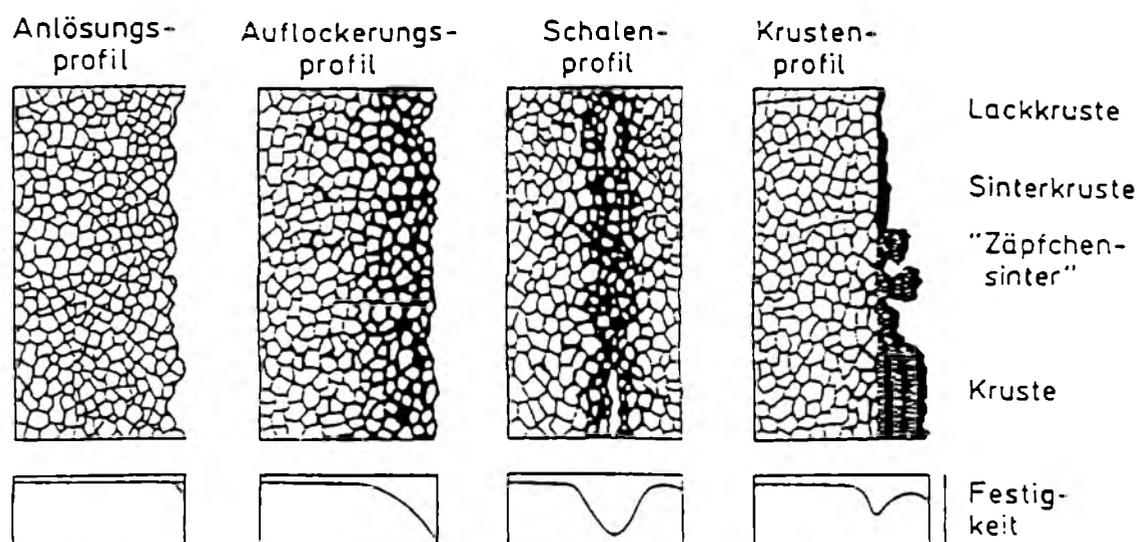


Abb. 2: Schematische Darstellung typischer Verwitterungsprofile und ihre Festigkeit (aus: GRIMM 1992 nach GRIMM & SCHWARZ 1985, verändert und ergänzt nach KIESLINGER 1932). Bei den porösen neogenen Kalksandsteinen können vor allem Schalenprofile und Krustenprofile beobachtet werden. Hinter den harten, festen Schalen und Krusten ist die Gesteinsfestigkeit stark herab gesetzt, da hier einerseits Feuchtigkeit gestaut wird und besonders aggressive chemische Steinzerstörung stattfindet und andererseits im Falle der schwarz gefärbten Gipskrusten durch thermisch induzierte Dilatation Scherspannungen das Gesteinsgefüge zerstören.

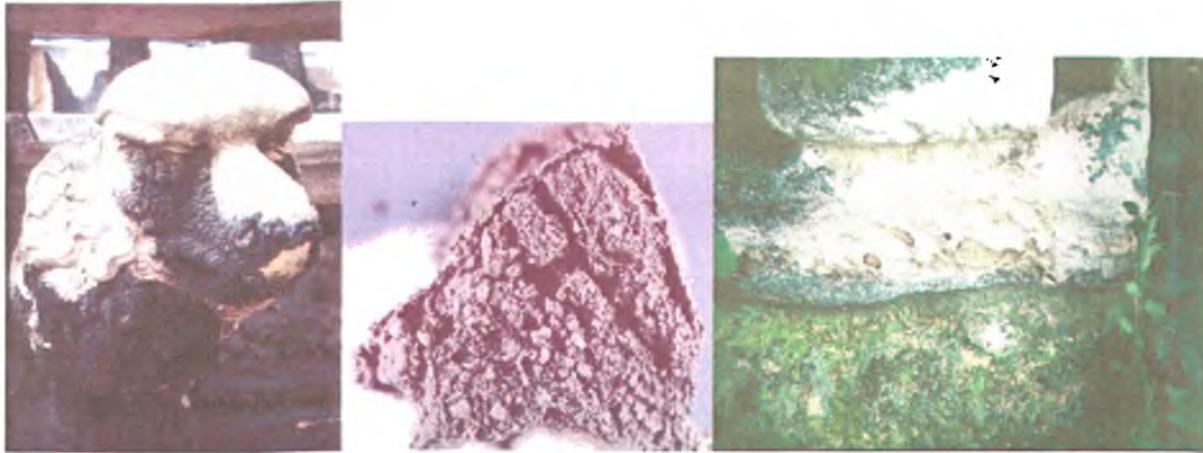


Abb. 3: Links: Gipskrustenbildung im Großstadtmilieu am Wiener Stephansdom (Wasserspeier aus St. Margarethener Kalksandstein) auf der Regen geschützten Steinoberfläche; Schwarzfärbung der Kruste durch Russ und Staub.

Mitte: Charakteristisches Schalenprofil an einer Krabbe aus St. Margarethener Kalksandstein; die Gesteinsoberfläche wird durch aus dem Kern gelöstes und ausgewandertes Bindemittel verdichtet, das Bindemittel der äußeren Schale besteht aus Gips.

Rechts: Dünne Gipskruste im Sockelbereich (Kalksandstein der Hainburger Berge) der Rundkirche von Petronell; auf Grund der staubfreien, relativ sauberen Luft ist diese Kruste nicht schwarz gefärbt.

Das Hauptproblem der Krusten ist ihre abdichtende Wirkung, da der Stein nicht mehr ungehindert austrocknen kann. In der Stauzone direkt hinter der Kruste kommt es zu einer vermehrten Gesteinszersetzung durch chemische Lösungsprozesse, außerdem findet sich in diesem Bereich eine dichte Besiedlung durch Algen, Bakterien und Pilze, die ihrerseits zerstörend auf die Substanz einwirken (z.B. MENTLER et. al., 1985). Der Bindemittelverlust im Inneren des Steinobjektes ergibt einen deutlichen Festigkeitsverlust, der zu einer statischen Gefährdung des Objektes führen kann (z.B. Abb. 3 Mitte).

Durch die Aufnahme von Wasser in die Gesteinsporen vergrößert sich zudem deutlich messbar das Volumen des Gesteins. Die orientiert entnommenen Prüfkörper weisen je nach Gesteinstyp eine Längenausdehnung bis zu mehreren Zehntel mm/m auf. Selbst erhöhte Luftfeuchtigkeit reicht schon aus, um Dehnungen zu bewirken, wenngleich diese i.a. nur rund 1/10 im Vergleich zu den Werten der im Wasser gelagerten Proben ausmachen.

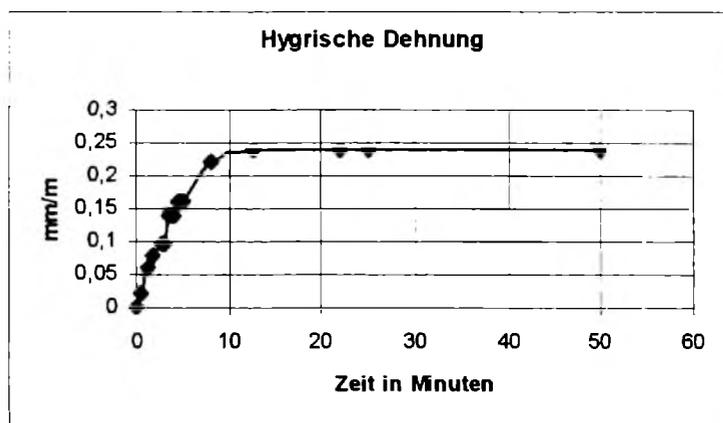


Abb. 4: Beispiel für hygrisch induzierte Dehnung eines sarmatischen Quarzsandsteines von der Türkenschanze (Wien XVIII).

Die hygrisch induzierte Dehnung stellt einen wesentlichen, bis jetzt zum Teil unterschätzten Schadensfaktor poröser neogener Baugesteine dar.

Wasser im Porenraum dient aber auch als Transportmedium für gelöste Salze (Mauersalze, „Saliter“), die in Verdunstungszonen durch Kristallisations- und Hydratationsdruck starke Schäden bewirken. Charakteristische Schadensbilder sind Aushöhlung und Absanden. An Schadsalzen treten vor allem Sulfate, Chloride und Nitrate auf.

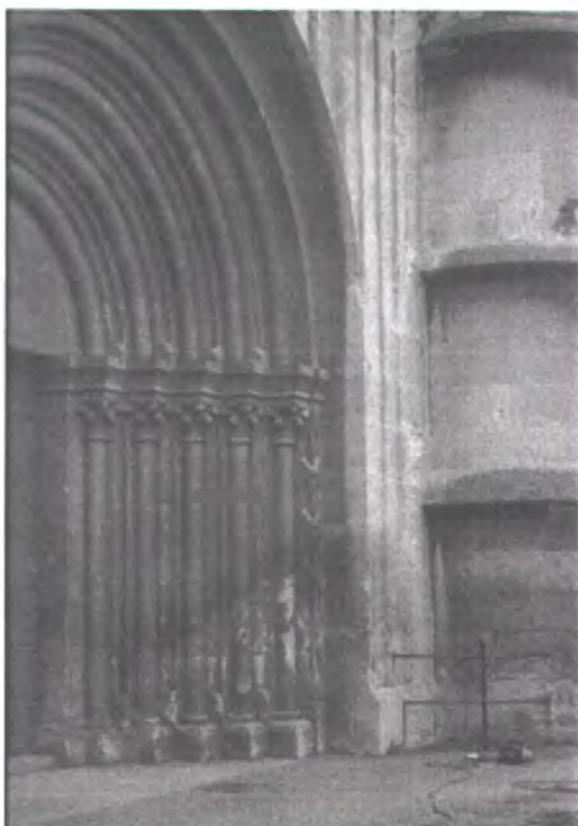


Abb. 5: Kapillares Aufsteigen der Bodenfeuchte im Bad Fischauer Konglomerat (Westportal, Wiener Neustädter Dom).

Der hellere Bereich wurde durch kristallisierendes Magnesiumsulfat zerstört. Im oberen, dunkel erscheinenden Abschluss dieser Zone sind stark hygroskopische, extrem leicht lösliche Salze angereichert, die alleine schon durch die vorhandene Luftfeuchtigkeit in Lösung bleiben und somit zu keiner strukturellen Zerstörung der Gesteine führen.



Abb. 6: Links: Kreuzwegstation von Stift Zwettl aus Zogelsdorfer Kalksandstein mit charakteristisch „pockennarbiger“ Oberfläche, hervorgerufen durch Salzsprengung.

Mitte: Türgewände aus St. Margarethener Kalksandstein an der Römischen Ruine von Schloss Schönbrunn mit Aushöhlungs- Verwitterung.

Rechts: Gesimse aus Stotzinger Kalksandstein (Römische Ruine, Schloss Schönbrunn); unter der schwarz gefärbten Gipskruste zerstört leicht lösliches Magnesiumsulfat (Epsomit) das Gesteinsgefüge.

Sulfate resultieren aus der  $\text{SO}_2$ -Belastung der Atmosphäre oder aus der Verwitterung sulfidischer Erze, wie zum Beispiel Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), der bei seiner Zersetzung Schwefelsäure frei setzt. Nitrate weisen praktisch immer auf biogene Aktivität durch Bakterien, Pilze, Fäkalien bzw. Verwesungsprozesse hin.

Wird die Feuchtigkeit im Porenraum durch Mörtelinkrustierungen, die im Zuge von Restaurierungen aufgetragen wurden, oder durch kapillares Wasserrückhaltevermögen gestaut, reagieren diese Gesteine gegenüber Frosteinwirkung meist empfindlich.



Abb. 7: Links: Barocke Volute (Gloggnitz/NÖ) aus Kalksandstein von Au am Leithagebirge mit Zementmörtelinkrustierungen durch Frostsprengung zerstört.

Rechts: Risse durch Frostsprengung in einem Rohblock Leithakalk aus Mannersdorf am Leithagebirge.

Gesteine, die erhöhtes Wasserrückhaltevermögen aufweisen, werden häufig auch von Algen, Pilzen, Bakterien und höheren Pflanzen besiedelt, die durch ihre Stoffwechselprodukte oder Wurzeldruck zur Gesteinszerstörung beitragen.



Abb. 8: Links: Balustrade (Mariensäule Wiener Neustadt, Hauptplatz) mit biogenem Bewuchs (Moose, Algen, etc.) an der Unterseite als Hinweis für gutes Wasserrückhaltevermögen im Stein.

Rechts: Strebepfeilerabdeckung der Minoritenkirche in Stein bei Krems, mit durch Wurzeldruck aufgeweiteten Stoßfugen.

## Freiluftlangzeitverwitterungsversuche

Zur Beurteilung des langfristigen Verwitterungsverhaltens von österreichischen Bau- und Dekorgesteinen wurden im Rahmen einer vom FFF geförderten Forschungskoooperation zwischen Steinmetzbetrieben (Fa. Bamberger, Fa. Ecker, Fa. Hummel), dem österreichischen Bundesdenkmalamt, dem *ofi*-IBF (Institut für Bauschadensforschung, Arsenal, Wien III), dem Institut f. Ingenieurgeologie der TU - Wien und dem Österreichischen Zentrum für biologische Ressourcen und angewandte Mykologie der Universität für Bodenkultur Wien großformatige Steinobjekte auf dem Gelände der Kartause Mauerbach exponiert. Eine Klimamessstation der Gemeinde Wien, unmittelbar vor Ort, zeichnet kontinuierlich Niederschlagsmenge, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Windgeschwindigkeit auf. Diese Messdaten werden von der Gemeinde Wien (ZAMG) dankenswerter Weise kostenlos zur Verfügung gestellt.

An den Steinobjekten werden in periodischen Abständen unter anderem folgende Kenndaten ermittelt:

- Beurteilung der Änderung der Oberflächenrauigkeit
- Änderung der Ultraschallgeschwindigkeit
- Änderung des Wasseraufnahmeverhaltens
- Änderung der Leitfähigkeit
- Beobachtung von Rissbildung
- Beobachtung der Krustenbildung
- Infrarotfotografie
- REM - Untersuchungen an Mikroproben zur Beobachtung der fortschreitenden Gefügebrauchung und Dokumentation chemischer Prozesse
- Mikrobiologische Besiedelung

Zusätzlich erfolgt eine kontinuierliche digitale Aufzeichnung der Oberflächentemperatur und des Dehnungsverhaltens dieser Steinobjekte. Diese Kenndaten werden mit den Klimadaten korreliert, um die fort schreitende Gefügebrauchung und die Entwicklung von Schadensbildern zu dokumentieren.

Derzeit (2003) werden fünf historisch bedeutsame Gesteinstypen exponiert, nämlich Lindabrunner Konglomerat, Aflenzer Kalksandstein, St. Margarethener Kalksandstein, Zogelsdorfer Kalksandstein und Laaser Marmor. Eine Erweiterung dieses Langzeitversuches ist für die kommenden Jahre geplant. Die ca. 160 cm hohen Steinobjekte mit Gesimse, Bohrungen und keilförmig auslaufender Abdeckung sollen unterschiedliche Expositionsbedingungen an Bauwerken simulieren. Parallel dazu erfolgen normgemäße Laboruntersuchungen an Prüfkörpern zur Bestimmung der Verwitterungsbeständigkeit dieser Gesteinstypen.



Abb. 9: Freiluftlangzeitverwitterungsversuche auf dem Gelände der Kartause Mauerbach (Bundesdenkmalamt).

## Literatur

BRÜGGERHOFF, S. & MIRWALD, P. W. (1992): Expositionsversuche mit Naturstein - Studium von Verwitterungsvorgängen an Denkmälern. - *Europ. Jb. Mineral., Beih.*, **3/1**, (Ber. dtsh. minerl. Ges.), 46, Stuttgart.

FITZNER, B. & KOWNATZKI, R. (1991): Klassifizierung der Verwitterungsformen und Kartierung von Natursteinbauwerken. - *Jahresberichte Forschungsprogramm 1989 Steinzerfall - Steinkonservierung (Förderprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie)*, **1**, (1991), 1 - 13.

GISBERT, J., MARIN-CHAVES, C. & ANDALUZ, N. (1996): Black Crusts from Rueda Cloister: an approximation to fossil effects of pollution in a semi arid climate. - [in:] RIEDERER, J. (ed.): *Proc. of the 8<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, **Vol. 1**, 387 - 392, Berlin.

GRIMM, W.-D. (1992): Naturwerksteine und Denkmalgesteine. Gewinnung, Verwendung und Verwitterung unter geogenen und anthropogenen Umwelteinflüssen. - *Die Geowissenschaften*, **9 - 10/92**, 251 - 256, Weinheim.

GRIMM, W.-D. & SCHWARZ, U. (1985): Naturwerksteine und ihre Verwitterung an Münchener Bauten und Denkmälern - Überblick über eine Stadtkartierung. - *Arbeitshefte d. Bayer. Landesamtes f. Denkmalpflege*, **31**, 28 - 118, München.

KIESLINGER, A. (1932): *Zerstörungen an Steinbauten, ihre Ursachen und ihre Abwehr*. - Leipzig und Wien (Deuticke).

MENTLER, A., MÜLLER, H.W. & SCHWAIGHOFER, B. (1985): Zur biogenen Verwitterung des Kalksandsteines am Stephansdom in Wien. - *Wiener Berichte über Naturwiss. i. d. Kunst*, **2/3**, 212 - 229, Wien.

MIRWALD, P. W. (1986): Umweltbedingte Gesteinszerstörung untersucht mittels Freiland - Verwitterungsexperimenten. - Z. f. Bauinstandhaltung u. Denkmalpflege, Sonderheft Bausubstanzerhaltung i. d. Denkmalpflege (1. Statusseminar), 24 - 27, Mainz, Dez. 1986.

MIRWALD, P. W. (1989): Evaluating Damage and accelerated exposure and field Studies; modelling techniques. - Science, Technology and European Cultural Heritage, Proceedings of the European Symposium (BAER, N. S., SABBIONI, C. & SORS, A., I, eds.), Bologna Italy, 13 - 16 June 1989.

MIRWALD, P. W. & BRÜGGERHOFF, S. (1994): Untersuchungen der Verwitterungsvorgänge an Kalkstein unter mitteleuropäischen Klima- und Immissionsbedingungen mittels Freiland-Expositionsversuchen. - Mitt. Österr. Mineralog. Ges., **139**, 344 – 346, Wien.

SIMON, S. & SNETHLAGE, R. (1996): Marble weathering in Europe - Results of the EUROCARE-EUROMARBLE Exposure Programme 1992-1994. - Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 30.9. - 4.10.1996 Berlin, Vol. I, 159 - 166, Berlin.

TORRACA, G. & WEBER, J. (1986): Poröse Baustoffe. Eine Materialkunde für die Denkmalpflege. - [in:] BANIK, G. & KRIST, G.: Restaurierung - Konservierung - Technologie, Band II, 130 S., Wien (Der Apfel).

WEBER, J. (1986): Der Wiener Stephansdom - Baugeschichte und Bausubstanz. Messungen zur Ermittlung des Zusammenhanges zwischen Schadstoffimmissionen und der Korrosion von Naturstein. - Wiener Berichte über Naturwiss. i. d. Kunst, **2/3**, 193 - 199, Wien.

WEBER, J., VENDL, A., PASENINGER, H. & RICHARD, H. (1984): Untersuchungen über den Einfluß von Luftschadstoffen auf die chemische Verwitterung von Naturbausteinen. - Wiener Berichte über Naturwiss. i. d. Kunst, **1**, 239 - 257, Wien.

WINKLER, E. M. (1994): Stone in Architecture. Properties, Durability. - 3<sup>rd</sup> edition, 313 pp., 219 figs., 63 tables, Berlin/Heidelberg/New York (Springer).