

Salze und Salzbehandlung in der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberfläche

in: Michael Petzet (Hrsg.), Salzsäden an Wandmalereien. Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung der Restaurierungswerkstätten des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege am 28./29. November 1988, Arbeitsblätter des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, Band 78, München 1996, S. 81-106)

Einleitung

Kunsthistoriker und Denkmalpfleger beklagen, oft zu Recht, daß der Verfall vieler Kunstwerke durch restauratorische Eingriffe eher beschleunigt als aufgehalten wurde. Fragt man sich rückblickend nach den Ursachen, stößt man früher oder später auf die Tatsache, daß Restaurierungen meist nicht die Analyse und Therapie der Ursachen der Schäden zum Ziel hatten, sondern kosmetische Maßnahmen darstellten, die an den Symptomen ansetzten.

Im Vergleich zu den "klassischen" Gebieten der Restaurierung, der Gemälde auf Leinwand und Holztafel, und der polychromierte Skulptur, also beweglichen Denkmälern, herrschen auf dem Gebiet der Wandmalerei und Architekturoberfläche zudem besondere Voraussetzungen.

Wandmalerei ist mit der Architektur technisch und ästhetisch verbunden. Wandmalerei ist technologisch sozusagen ein Spezialfall von Architekturoberfläche. Sie ist äußerst verletzlich, weil sie häufig aus einer nur wenige tausendstel Millimeter dicken Malschicht besteht. Konservatorische Eingriffe erfordern also interdisziplinäre Zusammenarbeit, und nicht selten einen hohen Zeitaufwand und hohe Präzision.

Wandmalerei wird nicht immer als Kunstdenkmal angesehen, sondern oft im Sinne eines Autonomiebegriffs von Kunst als eher zweitrangiges, dekoratives Metier bewertet, dessen restauratorische Bearbeitung bis heute nicht immer entsprechend spezialisierten Fachkräften überlassen wird.

Noch tiefer in der Skala herrschender Bewertung steht die Architekturoberfläche allgemein, trotz ihrer quantitativen Bedeutung. Die originalen Beschichtungen der Architekturoberfläche werden als auswechselbares Gewand betrachtet, nicht als konstituierender Teil des Denkmals. Spuren der Alterung werden als Störung des Gebrauchswerts abgelehnt.

Diese Bewertungen stehen wohl auch der Entwicklung einer akademischen Spezialausbildung im Wege. Sie hat sich etwa gegenüber der Gemälderrestaurierung international erst spät entwickelt, in Österreich ist sie (hoffentlich) im Entstehen.

Später als in anderen Gebieten der Restaurierung begann sich auch in der Konservierung und Restaurierung von Wandmalerei und zunehmend auch generell von Architekturoberfläche eine Veränderung des Berufsbilds durchzusetzen. Dieser Prozess ist bis heute beileibe nicht abgeschlossen.

Änderung der Grundvorstellungen

Die Vorstellungen von der notwendigen Praxis beginnen sich langsam den Grundsätzen zu nähern, wie sie z.B. in der Internationalen Carta über die Erhaltung und Restaurierung von Kunstdenkmälern und Denkmalgebieten (Venedig 1964) festgelegt sind. Immer häufiger orientieren sich praktische Maßnahmen am Architekturdenkmal, auch an seiner Wandoberfläche, am Prinzip der minimalen Intervention, der Pflege und der Therapie der Schadensursachen, nicht nur der Symptome. Entsprechend wird immer häufiger die Notwendigkeit interdisziplinärer Zusammenarbeit anerkannt.

Diesen Paradigmenwechsel in der modernen Entwicklung der Wandmalereirestaurierung hat - soweit das die Literatur widerspiegelt - Johannes Taubert eingeleitet, ein Mann also, der als Pionier der Verbindung von Theorie und Praxis, von Wissenschaft und künstlerischem Handwerk in der Restaurierung bezeichnet werden kann¹. In seinem Aufsatz über "Restaurierprobleme alter Wandmalereien" betont er die Notwendigkeit, zur

¹ Johannes Taubert, Zur kunstwissenschaftlichen Auswertung von naturwissenschaftlichen Gemäldeuntersuchungen, phil. diss. Marburg 1956; . Taubert 1958.

Abnahme von Wandmalereien Alternativen zu finden und Methoden der Erhaltung in situ zu entwickeln. Er erwähnt dabei besonders die Möglichkeiten "zur Entfernung von Ausblühungen und die Behebung ihrer Ursachen". Taubert weist dabei auf Erfahrungen von M. Vunjak, Belgrad hin und seine "Methode des Absaugens der Salze durch teigförmig aufgetragene reine Papiermasse ("Holländermase")".

Der Apell Tauberts war begründet. Tatsächlich kann die Geschichte der **Abnahme der Wandmalereien**, von Ausnahmen abgesehen,² als eine Geschichte der ideellen und recht häufig auch materiellen Katastrophen bezeichnet werden³. Sie ist bis heute nicht überwunden.

Die Wandmalereien wurden als autonome Kunstwerke verstanden, sowohl technisch und ästhetisch. Mora, Mora-Bordoni und Philippot formulierten die dazu bis heute aktuelle und gültige Kritik: "...Wandmalerlei ist integraler Bestandteil jener Architektur, die sie vervollständigt. Deshalb ist jede Trennung der Malerei von ihrem ursprünglichen Träger eine radikale und irreversible Veränderung beider Teile. Sie ist deshalb eine extreme Maßnahme, auf die nur dann zurückgegriffen werden sollte, wenn eine Untersuchung der Gesamtsituation zweifelsfrei ergeben hat, daß die Hauptursachen der Schäden nicht in situ behoben werden können"⁴.

Besonders die Methode der strappo-Abnahme führt unvermeidlich zu ästhetischen Veränderungen: in der Lichtrefraktion und in der Farbe, im Oberflächenrelief, im Alterungsverhalten.

Die für Kaschierungen und als Träger verwendeten Materialien wurden in ihrem eigenen Alterungsverhalten unterschätzt. Eine wachsende Zahl von Wandmalereien, die noch vor fünfzehn, zwanzig Jahren abgenommen wurden, befinden sich heute in einem beklagenswerten Zustand und müssen erneut oder gar ein drittes Mal übertragen werden. Neben den üblichen Adhäsionsproblemen dürfen auch die (mit abgenommenen) löslichen Salze sogar bei strappo Abnahmen nicht vergessen werden.⁵

Nach der verheerenden Flut in Florenz 1966 wurde die in vielen Fällen zur Rettung des Objekts sicher notwendige Abnahme von Wandmalereien geradezu zum artistischen Betätigungsfeld von Restauratoren stilisiert und in der Welt präsentiert.⁶ Im Gefolge dieser herrschenden Fachmeinung wurde noch 1977 ein Teil der romanischen Wandmalereien von Salzburg Nonnberg abgenommen.⁷

² siehe die Abnahmen von 1883 in Treviso, durchgeführt von Mario Botter: Il ritorno di Orsola. Affreschi restaurati nella chiesa di Santa Caterina in Treviso, Treviso s.d. (1992?).

³ Volker Schaible, Historisches und Ethisches zur Abnahme von Wandmalerei, in: Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei. Schule für Gestaltung Bern, 5.-6. November 1984, Bern 1985, 143-150. In einem Diskussionsbeitrag während der Tagung sagte Dr. Mörsch, daß manchmal angesichts eines drohenden Verlustes einer Wandmalerei eher "die Leidenschaft der Denkmalpfleger erhöht" werden sollte, als weitere Abnahmen zu befürworten; Manfred Koller, Zur Problematik der Übertragung von Wandmalereien, in: Maltechnik-restauro 2 / 1987, 17 - 22; Hammer, 1988 b und 1991; Antonio Paolucci, Per una storia del restauro degli affreschi a Firenze: La stagione degli stacchi, in: C. Danti - M. Matteini - A. Moles (eds), Le pitture murali. Tecniche, problemi, conservazione, Firenze 1990, 11-20; Alberto Felici, Laura Luciola, Alessandra Popple, Catalogazione ragionata di affreschi staccati in Firenze nel periodo 1945-1980, in: ebenda, 303-312.

⁴ Mora et. al. 1977, 266 (1983, 236).

⁵ Bei den 1968/69 abgenommenen und 1985-90 neuerlich übertragenen Totentanz-Fresken von Metnitz fand sich im Klimazelt bei mehr als 70% RLF deutlich erhöhte elektr. Leitfähigkeit der Oberfläche, u.a. von hygroskopischem Kaliumnitrat. Die berühmten Abnahmen der roman. Wandmalereien in Museo de Cataluna in Barcelona zeigten im Sommer 1988 ebenfalls erhöhte elektr. Leitfähigkeit (Ha.).

⁶ U. Procacci, Fresken aus Florenz, München 1969. In der Ausstellung im Haus der Kunst, München (11.7.-24.8.1969) fanden sich vormittags auf dem jeden Morgen gereinigten Fußboden die Splitter der Weißhöhlungen von Andrea del Sarto's auf Hartfaserplatten (MASONITE) übertragenen Fresken aus dem Kloster der Compagnia di S. Giovanni B. allo Scalzo (Ha.).

⁷ Sebastian Enzinger, Übertragung eines romanischen Wandgemäldes in der Stiftskirche Nonnberg, in: RESTAURATORENBLÄTTER 9 (Wandmalerei, Sgraffito, Stuck), 1987/88, 103-108. Entsprechende Diskussionen wurden bis 1979 auch bezüglich der Fresken von Lambach (um 1080) geführt, siehe: Hammer 1988 b und 1991. Siehe auch: Silke Mellin, Mural Paintings ex situ. Current approaches to presentation and mounting. Diploma dissertation, Courtauld Institute of Art, Conservation of Wall Paintings Department, Course 1991-1994, London 1994.



Abb. 1: Salzburg, Nonnberg, Stiftskirche ehem. Paradies, Wandmalerei Mi. 12. Jh., 1977 abgenommene und übertragene Nische. Bei der Abnahme werden Salze mit(ab)genommen und können zu weiteren Schäden führen. Foto Hammer 1988

Neben der Radikaloperation Abnahme gibt es eine zweite Form der Hilflosigkeit gegenüber den Schadensursachen: die **kosmetische Maßnahme**. Die physischen und ästhetischen Folgen der Existenz löslicher Salze (Ausblühungen) oder auch von Mikroorganismen wurden mit Übermalungen und Beschichtungen unterdrückt. Die Liste der dazu verwendeten Mittel ist lang. Besonders bekannt und berüchtigt sind die Überzüge mit Wachs-Harzmischungen.⁸ Restauratoren haben sich ihr eigenes Tätigkeitsfeld geschaffen: sie "entrestaurieren".

Die in vielen Fällen nicht notwendige "Fixierung" von Wandmalereien wurde oft nur durchgeführt, um die Oberfläche brillanter erscheinen zu lassen. Man stellte sich weder die Frage nach den Ursachen der Schäden noch die auch heute oft nicht bedachte Frage, ob ein Mangel an Kohäsion zu beheben war (Festigung, Konsolidierung) oder ein Mangel an Adhäsion (Fixierung)⁹. Die dabei eingesetzten Materialien trafen oft eher zur Beschleunigung der Schadensprozesse als zur Konservierung¹⁰.

Noch eindeutiger als bei der Wandmalerei ist die Situation bei der Architekturoberfläche allgemein. Auch hier schlägt das Pendel zwischen **Radikaloperation und Kosmetik**. Die alte Tradition der periodischen Pflege und des Schutzes von Fassaden wurde (wie in anderen gesellschaftlichen Bereichen auch) mit der Änderung der wirtschaftlichen Grundlagen und entsprechend den Umwälzungen der Bautechnik verlassen. Reparaturen werden, wenn überhaupt, nicht mehr in alter handwerklicher Materialtechnik durchgeführt, sondern mit "atmungsaktiven", "mineralischen" Materialien, die zwar kurzfristig haltbarer als etwa ein Kalkanstrich sein mögen, aber längerfristig zur Erneuerung der gesamten Fassadenoberfläche zwingen.

⁸ Diplomarbeit Thomas Lauth, Bestands- und Zustandsuntersuchung der Wandmalereien des Süd-Ostjoches der Kapelle der Burg Kriebstein. Entwicklung einer Konservierungs- und Restaurierungskonzeption. Bearbeitung eines Probefeldes, Hochschule für Bildende Künste Dresden, Fachbereich Restaurierung, Fachklasse "Restaurierung historischer Wandmalerei und Architekturfarbigkeit" (Prof. R. Möller), Dresden 1994; Maria Alm, Sbg, Pfarrkirche, Wandmalereien von C.A. Mayr, 1757, Restaurierung von E. Lux und M. Spurny, 1989/90.

⁹ Mora 1984.

¹⁰ siehe Hammer 1987 und 1988 a; Matteini & Moles 1990 a, z.B.: die Ghirlandaio-Fresken von Santa Maria Novella, Florenz; Arnold & Zehnder 1991, 103; Giorgio Torraca, Dangers présentés par l'utilisation des produits synthétiques pour les oeuvres d'art et pour les restaurateurs, in: Produits synthétiques pour la conservation et la restauration des oeuvres d'art. 1ère partie, Notions de base. Séminaire 28.-30. nov. 1985 à Berne. SCR (ed.), Bern-Stuttgart 1987, 41-56; K. Petersen, Ch. Heyn, W.E. Krumbein, Degradation of synthetic consolidants used in mural painting restoration by microorganisms, in: French Section of IIC (ed), Old Restorations of Wall Paintings. Journées d'études, Dijon 25.-27.3.1993 (preprints).

Lange Vernachlässigung einer Fassade und entsprechende Schäden enden meist in der Radikaloperation: Vernichtung und Erneuerung der (z.B. verputzten) Oberfläche.¹¹ Schadensphänomenen, jedenfalls solchen, die auf die Wirkung löslicher Salze zurückzuführen sind, wird in nicht geringem Umfang mit kosmetischen Maßnahmen begegnet: Auch wenn aufsteigende Feuchtigkeit durch Horizontalsperre verhindert wird, bleibt die Entfernung der bereits mit der Feuchtigkeit transportierten und an der Oberfläche konzentrierten Salze meist außer Betracht. Die Feuchtigkeit, die oft hygroskopischer Natur ist, wird durch Porenputze oder andere, den Kapillarttransport von Wasser verhindernde Maßnahmen (eine zeitlang) unsichtbar gemacht.

Bedeutung der löslichen Salze in der Verwitterung von Architekturoberfläche. Ein Erkenntnisprozess

Daß lösliche Salze bei der Verwitterung von porösen Materialien, seien es Natursteine seien es Wandmalereien, eine wichtige Rolle spielen, ist seit langem bekannt.¹² Die Umsetzung dieser Erkenntnis für die Erhaltung von Kunstwerken, die der Verwitterung ausgesetzt sind, schlug sich aber lange Zeit nur vereinzelt in der Literatur nieder.

Freilich ist, wie in allen Lebensbereichen, die Geschichte der Praxis nicht identisch mit ihrer Widerspiegelung in der Literatur. Sicherlich sind an vielen Orten und mit vielen Methoden an Wandmalereien und historischen Verputzen Salze behandelt worden, bevor dies in der Literatur beschrieben wurde. Man kann davon ausgehen, daß mit jeder Reinigung von Architekturoberfläche und Wandmalerei auch Salze mit entfernt werden, auch wenn dies nicht bewußt gemacht wird. Aber auch die gezielte Salzentfernung hat in diesem Bereich eine längere Praxis-Tradition. Zum Beispiel wurden ca. 1971 in der russisch-orthodoxen Kirche von Ivanovo / ehem. Russische SSR die Gewölbe unter der Leitung von Prof. Victor Wassilitsch Filatov zur Entsalzung mit einer Kompressen aus feinem Quarzsand und Pfeifenton behandelt; dasselbe Verfahren wurde unter der Leitung von Prof. Boris S. Vinogradov in der Kirche von Tiumén/Sibirien angewendet, eine "allgemein bekannte Technik"¹³. Es ist auffallend, daß nach den zuerst 1926 publizierten Arbeiten von Rathgen die frühesten Publikationen über praktische Ergebnisse der Salzverminderung von Wandmalerei aus "Ostländern" stammen¹⁴ und sich dort auch eine Forschungstradition entwickelt hat.¹⁵

Die zentrale Rolle der löslichen Salze bei der Verwitterung von Architekturoberfläche allgemein und insbesondere von Wandmalereien ist aber erst seit wenigen Jahrzehnten bekannt gemacht worden. Generell konzentriert sich die naturwissenschaftliche Forschung bis heute auf das Gebiet der Steinkonservierung. In diesem Fall ist die Forschung zur Wandmalerei sogar gleichzeitig, wenn nicht entwickelter als jene zu Steindenkmälern. Dies kann zum Teil mit der Bedeutung der wenige μ dicken Malschicht für die Existenz einer Wandmalerei erklärt werden. Herausragend sind vor allem die Forschungen in Florenz und Zürich. In beiden Fällen ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaftlern und Restauratoren festzustellen und entsprechend eine konsequente Verbindung von Theorie und Praxis¹⁶.

Nach der verheerenden Flut von Florenz 1966 hatte Enzo Ferroni gemeinsam mit dem Restaurator Dino Dini eine Alternative zur gebräuchlichen Abnahme von Wandmalereien entwickelt, die von einem strukturellen Verständnis der physikalischen Eigenschaften der Wandmalerei ausging¹⁷. Trotz der bald offensichtlichen

¹¹ Dies betrifft nicht nur Verputze und Färbelungen, sondern auch Oberflächen aus Haustein: (z.B. die gotischen Dome mit ihren Bauhütten).

¹² siehe in M.Koller, Zur Vorgeschichte von Salzbelastungen am Denkmal, im selben Heft: Der Architekt Giuliano da San Gallo erklärte 1506 Michelangelos Probleme mit Ausblühungen beim Malen an den Gewölbefresken der Sixtina mit den Folgen des Winterklimas und Mauersalzen. Michelangelo hielt diese Ausblühungen für eine Art Schimmel. Siehe auch Manfred Koller, Wandmalerei der Neuzeit, in: Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken, Band 2, Stuttgart 1990, 213-398. Arnold & Zehnder 1991 erwähnen Salzsprengversuche, die vor mehr als 150 Jahren durchgeführt wurden.

¹³ ich danke diesen Hinweis Dipl. Rest. Andrej Losin, Wien.

¹⁴ Farnakovskij 1947 und Kostrov 1954 (beide ehem. UdSSR), Vunjak 1957 (ehem. Jugoslawien). Die Gründe dafür sind sicher vielschichtig. Vielleicht war es nicht nur der Zwang einer Mangelwirtschaft. Es gab offensichtlich Restauratoren, die erst später der für unsere Zeit typischen (und lange auch von Denkmalpflegern kaum kritisch gebrochenen) Faszination über die technologische Omnipotenz moderner Materialien und moderner naturwissenschaftlicher Erkenntnis erlegen sind.

¹⁵ siehe z.B. Kranz 1967, Lehmann 1967/1987, Jędrzejewska 1971, Skibinski (Polen), Moraru 1978 (Rumänien).

¹⁶ In Florenz Enzo Ferroni und Dino Dini, Mauro Matteini, Archangelo Moles und Sabino Giovannoni, Guido Botticelli, in Zürich Andreas Arnold, Konrad Zehnder und Oskar Emmenegger, und jeweils ihre Mitarbeiter(innen) und Schüler(innen).

¹⁷ Ferroni 1968 ff. Ferroni kannte unter anderem das US-Patent von Lewin 1966.

Erfolge dieses Verfahrens, "Barium-Methode" genannt, wurden in Florenz wie andernorts noch eine zeitlang Wandmalereien abgenommen. Die Kenntnisse vieler Wissenschaftler und Restauratoren über die Wirkung und Verminderung löslicher Salze wirkten sich erst mit einiger Verzögerung in der täglichen Konservierungspraxis aus.¹⁸ Im Bereich Steinkonservierung war der Forschungs- und Diskussionsschwerpunkt bezüglich praktischer Konservierungsmaßnahmen bis in jüngste Zeit die Auseinandersetzung mit dem Problem der Konsolidierung und des Schutzes. Vor allem Andreas Arnold und seine Kolleg(inn)en haben die Wirkungsweise der löslichen Salze im Gebiet der Wandmalerei erforscht und bekannt gemacht.

Mit dem Ziel der Erhaltung von Wandmalereien in situ wurde im Rahmen der Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamts seit 1977 in praxisorientierter Zusammenarbeit zwischen Chemikern und Restauratoren.¹⁹ an der Entwicklung und Durchführung von Methoden der Vorfixierung und der Salzverminderung mit Kompressen gearbeitet. Von Anfang an war dabei auch die Konservierung und Reparatur der Architekturoberfläche insgesamt, vor allem der historischen Verputze, ein Arbeitsschwerpunkt.

SALZE und FEUCHTIGKEIT

Art und Herkunft der Salze:

- Baumaterialien
- Grundwasser
- Luftverschmutzung
- Biogene Salze

Herkunft und Transport der Feuchtigkeit

- normale Feuchtigkeit
 - thermische Kondensation
 - hygroskopische Kondensation

zuviel Feuchtigkeit:

- Infiltration
- thermische Kondensation (Nutzung)

Transport der Salze

Bedingungen für Ausfällung und Kristallisation der Salze

Kristallformen, Schadensmechanismen

Schadenswirkung

Die folgenden Bemerkungen über chemische und physikalische Eigenschaften von löslichen Salzen im Bauwerk versuchen, wissenschaftliche Erkenntnis und Empirie zu verbinden. Sie können nur vorhandene Kenntnis (kurz) referieren und aus der Sicht des Restaurators kommentieren. Im übrigen sei vor allem auf die Forschungen von Andreas Arnold und seiner Kolleg(inn)en verwiesen²⁰. Den aktuellen Wissenstand vermittelt aus der Sicht des Restaurators die Diplomarbeit von Christoph Tinzl²¹.

Art und Herkunft der Salze:

Jede Feuchtigkeit im Bauwerk ist im Prinzip eine verdünnte Salzlösung. Die häufigsten Anionen der löslichen Salze sind Carbonate, Sulfate, Nitrate und Chloride, seltener Oxalate, Formiate, Phosphate etc., die häufigsten Kationen Calcium, Natrium, Magnesium und Kalium.

Die Salze sind Ergebnis der physikalischen, chemischen und biologisch induzierten Verwitterung der Bau- und Malmaterialien, der natürlichen Materialien der Umgebung und von Materialien, die sich aus menschlichen

¹⁸ Auch die Pioniere in der wissenschaftlich begründeten Entwicklung von Methoden der Konservierung von Wandmalerei Giorgio Torraca (z.B. 1976) und Paolo Mora (z.B. 1977) diskutieren wesentlich ausführlicher die technologischen Probleme der Wandmalerei-Abnahme als über die Salzverminderung. Torraca sprach noch 1985 von der Konsolidierung von Fassaden-Zonen, die durch "Subfloreszenzen" (Salzausblühungen unter der (Verputz-) Oberfläche) beschädigt sind, mit Acrylharz-Lösungen (Torraca 1985).

¹⁹ Hubert Paschinger und Helmut Richard (Chem. Labor des BDA) sei an dieser Stelle für viele Diskussionen und operative Einstellung gedankt. An der Entwicklungsarbeit waren auch eine Reihe freiberuflicher Restaurator(inn)en engagiert beteiligt, unter anderen Peter Berzobohaty; Heinz Leitner; Christa Linsinger; Ernst Lux; Claudia Podgorschek, Manuela Pokorny, Jane Rutherford, Herbert Schwaha; Christoph Serentschy, Josef Wintersteiger, und viele Praktikant(inn)en.

²⁰ Arnold & Zehnder 1991.

²¹ Tinzl 1994. Ich danke Christoph Tinzl für die Überlassung des Manuskripts seiner Diplomarbeit. Siehe auch die von uns gemeinsam erarbeitete Bibliographie.

Aktivitäten ergeben. Durch Trocknungs-Vorgänge (Verdunstung der Feuchtigkeit) wird ihre Konzentration im Mauerwerk so erhöhte, daß sie schädlich wirken.

Die Herkunft der Salze ist im einzelnen schwer zu präzisieren, in der Praxis sind folgende Quellen relevant:

- Baumaterialien:

Kalksteine unterliegen durch das im Wasser gelöste Kohlensäuregas dem bekannten natürlichen Sinterprozess (der z. B. auch für die Bildung von Tropfsteinhöhlen verantwortlich ist), dolomitische Steine und Sand reagieren mit Sulfat-Ionen ("Saurer Regen") unter Bildung von Magnesiumsulfat. Natürliche Steine, aber auch Ziegel, enthalten häufig auch etwas leichter lösliche Salze, zum Beispiel Gips.²² Die für Mörtel verwendeten Sande können durch organisches Material wie Erde oder Tierexkremete verschmutzt sein. In historischem Mauerwerk sind wiederverwendete Baumaterialien wie verrußte Dachziegel oder Mauersteine häufig anzutreffen. Diese enthalten Salze, die oft seit Jahrhunderten aufkonzentriert wurden.

- Grundwasser:

Jedes im Mauerwerk aufsteigende Wasser enthält die löslichen Bestandteile der Umgebung: vor allem Nitrate, die von Mikroorganismen aus organischen Reststoffen produziert werden und Chloride, z.B. von Kochsalz und Streusalzen (NaCl , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Wenn umgangssprachlich auf der Baustelle von Mauersalpeter gesprochen wird, sind zwar meist alle ausblühenden Salze gemeint, die Bezeichnung dürfte aber von den häufig vorkommenden Nitraten biogenen Ursprungs (z.B. KNO_3) stammen.

- Luftverschmutzung:

Die Verwitterung von Architekturoberfläche durch Luftverschmutzung ist kein neues Phänomen, sie ist auch an früheren Kalktünchen nachzuweisen.²³ Die als "saurer Regen" bekannten schwefeligen Bestandteile der Luft, die das Bindemittel Kalk in leichter löslichen und instabileren Gips umwandeln, sind nur Teil der Schadstoffe der Luft. Die Gase enthalten auch CO_2 , das in gelöster Form den Sinterprozess, aber auch die Bildung von Carbonat-Krusten beschleunigt, Stickoxide (NO_x), welche die Bildung von Nitraten begünstigen und anderes reaktive Material (NH_3). Feuchte Ablagerungen können im Trocknungsvorgang gefährliche Ionen-Konzentrationen (Salzlösungen, Säuren) erzeugen. Es ist bekannt, daß bei Nebel oder Nieselwetter höhere Schadstoffkonzentrationen entstehen können als bei starkem Regen. Trockene Ablagerungen (Mineralien, Metalloxide, Sulfide, Ruß, Mikroorganismen, etc.) wirken als Schadstoffkompressen (Säuren, Lebensraum von Mikroorganismen etc.). In städtischen Gebieten ist die Trockenablagerung wesentlich höher als in ländlichen Räumen²⁴, in Innenräumen viel niedriger als außen.

- Biogene Salze:

Lange Zeit wurde die Bedeutung der Mikroorganismen als Salze bildender Schadensfaktor unterschätzt. Lange bekannt ist der genannte biologische Metabolismus organischer Substanzen, der häufig zur Bildung von Nitraten führt²⁵. In den letzten Jahren haben sich die Forschung und auch Restauratoren verstärkt diesen Problemen zugewandt.²⁶ Auch wenn nicht jeder im Labor kultivierbare Mikroorganismus auch tatsächlich

²² nach Matteini 1991, 141 ist die Löslichkeit von Gips in Wasser (bei 17,5° C) mehr als hundert mal so hoch wie jene von Calciumcarbonat. Umgekehrt ist Magnesiumsulfat (z.B. Epsomit) 91 mal löslicher als Gips, Natriumnitrat 483mal.

²³Richard 1986.

²⁴ Arnold & Zehnder 1991, 108 berichten von Untersuchungen von Girardet und Furlan (1982): In Lausanne ist Trockenablagerung zwanzigmal höher als in ländlichem Gebiet (Longirod, Jura Gebirge), im Innern der Kathedrale von Lausanne achtzigmal niedriger als Außen.

²⁵ z. B. S. Paine, The effects of bat excreta on wall paintings, in: The Conservator 1993

²⁶G. Weirich, Untersuchungen über Mikroorganismen von Wandmalereien, in: Material und Organismen, 24. Bd, Heft 1 (Sonderdruck), 1989, 139-158; H. Riedl, Kriterien für die Wahl vorbeugender und konservierender Maßnahmen gegen biologische Schäden an Wandmalerei und Putz, in: Restauratorenblätter 9 (Österr. Sektion des IIC), Wien 1987/88, 26-33; Piero Tiano, Problematiche biologiche nella conservazione e nel restaurao degli intonaci dipinti, in: C. Danti et al. (ed.), Le pitture murali, Firenze 1990, 189-94; Petersen & Hammer 1993; sieh auch die zahlreichen Beiträge in: V. Fassina et al. (ed.), The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the 3rd International Symposium, Venezia 1994, 295-370; Hammer 1993; Hammer 1994

Schäden verursacht hat, ist doch ihre schädliche Aktivität z.B. durch Bildung von organischen Säuren in und auf den porösen Baumaterialien inzwischen nachzuweisen²⁷. Ihre hydrophilen Eigenschaften mögen auch sekundär chemische Verwitterung durch Salze begünstigen.

- Materialien der Reparatur historischer Architektur (und Restaurierung)

Die schädliche Wirkung von Portland-Zement im Altbau und speziell bei Wandmalereien ist seit langem bekannt²⁸. Wenn er heute als Material für Ergänzungen und Kittungen nur noch selten vorkommt, wird doch bis heute zur Mauerfestigung²⁹ und Mauerergänzung, als "Vorspritzer" und als hydraulischer Anteil von Verputz verwendet. Vor allem durch A. Arnold ist bekannt geworden, wie durch Baustoffe mit löslichen Alkalien nicht nur zusätzliche schädliche Salze in den Altbau eingebracht werden, sondern auch weniger schädliche Salze in viel schädlichere umgewandelt werden.³⁰ Typische ausblühende Salze sind Natrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) und Mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, aber auch Natriumchloride und -nitrate. Auch mit anderen alkalischen Baustoffen wie Kaliwasserglas³¹, alkalischen und sauren Reinigungsmitteln³², Hinterfüllmaterialien³³, ja sogar Desinfektionsmitteln³⁴ werden Salze in den porösen Baustoff und die Malschicht eingebracht.

Herkunft und Transport der Feuchtigkeit

In jedem Lehrbuch steht, daß der wichtigste Schadensfaktor für ein Bauwerk die Feuchtigkeit sei. Tatsächlich ist Wasser die Voraussetzung für fast alle chemischen und biogenen und für viele physikalischen Schadensprozesse. Wenn man aber versucht, das poröse System Mauerwerk und seine Oberfläche gesamthaft, als im Prinzip funktionierendes und normal alterndes System zu betrachten, wenn man also nicht in erster Linie fragt, warum Zerstörungsprozesse passieren, sondern zunächst fragt, warum das System überhaupt erhalten geblieben ist, dann ergibt sich ein differenzierteres Bild, eine andere Einstellung zur Feuchtigkeit, die in wesentlichen Punkten der herrschenden Lehrmeinung widerspricht.

Wir müssen unterscheiden zwischen normal auftretender Feuchtigkeit und jener Feuchtigkeit, die in einer Menge und mit einem Kontaminationsgrad auftritt, die schädlich wirken.

²⁷ siehe Heike Fricke, Überlegungen zur Anwendung von Bioziden an Wandmalereien am Beispiel der evang. ref. Kirche in Eilsum, unpubl. Diplomarbeit Fachhochschule Hildesheim, 1993; E. Bock, Biologisch induzierte Korrosion von Naturstein - starker Befall mit Nitrifikanten, in: Bautenschutz und Bausanierung 42-45 (Spezialnummer), 1986; R.J. Palmer et al., Biomass and organic Acids in sandstone of a weathering building: production of bacterial and fungal isolates, in: Microbial Ecology 21, New York 1991, 253-266; Weber & Zinsmeister 1991, 50 (Schwefelbakterien)

²⁸ Mora et al. 1977, 239 f; Augusti 1948

²⁹ z.B. in den Türmen der Stiftskirche St. Lambrecht/Steiermark 1987 (R. Küng, Stiftskirche St. Lambrecht, Sanierung der Türme, Fa. Ast, Graz 1991

³⁰ Arnold 1984 a; Arnold 1985; McCoy & Eshenour 1968

³¹ Schiessl 1985; Tinzl 1994, Anm. 76

³² Arnold & Zehnder 1983.

³³ H. Etl und H. Schuh, Putzsicherung mit LEDAN TB1, in: Haftungsprobleme und Putzsicherung an gemauerten und hölzernen Putzträgern, Tagungsbericht Nr.2/1992 (Bayerische Landesamt für Denkmalpflege, ed.), 47.

³⁴ Fricke 1993.



Abb. 2: Weissenkirchen / Niederösterreich, Pfarrkirche, Hauptturm, Westfassade, rau abgezogener, einschichtiger Verputz von 1502 auf Bruchsteinmauerwerk, vor der Konservierung. Durch die Wasserschlaggesimse ist der Verputz gegen übermäßige Feuchtigkeit geschützt. Wo dieses Gesims beschädigt ist, beginnen die Schäden durch Vergipsung. Foto Hammer 1989



Abb. 3: Wien 1, Schottenkirche, Langhaus, Südfassade, Detail. Durch Schäden an der Dachdrainage ist der Verputz mit Salzen kontaminiert. Durch den filmbildenden Anstrich kristallisieren die Salze hinter der Oberfläche. Der Verputz verwittert unter dem Anstrich. Foto Hammer ca. 1985

Freilich ist das, was **"normale" Feuchtigkeit** ist, nicht leicht mit naturwissenschaftlichen Kennzahlen zu definieren. In empirischer Annäherung kann als normale Feuchtigkeit jene bezeichnet werden, die unter nicht extremen Witterungsbedingungen auch dann im Bauwerk auftritt, wenn die von den Erbauern eingerichteten Systeme zur Ableitung und Drainagierung von Wasser funktionieren. Feuchtigkeit ist nicht an sich schädlich, wenn sie in normalen Mengen auftritt, im Gegenteil: sie ist zur Erhaltung des Systems notwendig: Eine Verputzoberfläche, die mit Calciumcarbonat gebunden ist, würde den Verwitterungsprozessen (z.B. Thermische Dilatation, Eissprengung, Vibration, Kristallisation und Hydratation von Salzen) nur kurze Zeit standhalten können, wenn nicht (unter normalen, günstigen Bedingungen) durch den Sinterprozeß eine

"Selbstheilung"³⁵ des Systems stattfinden würde. Umgangssprachlich heißt es, ein Verputz "erstickt", wenn kein Wasser in flüssiger Form zu ihm gelangt. An vielen historischen Verputzen, die eine raue (d. h. rau abgezogene) Oberfläche aufweisen und die mehrere hundert Jahre gehalten haben, kann man ablesen, daß sie nicht deshalb erhalten geblieben sind, weil kein Wasser eingedrungen ist, sondern deshalb, weil das "normalerweise" eindringende oder kondensierende Wasser rasch verdunstet ist. Es ist bekannt, daß Wasser, das in flüssiger Form bis an die Oberfläche eines porösen Materials kommen kann, um Größenordnungen schneller verdunstet, als wenn es nur in Dampfform an die Oberfläche gelangen kann. Filmbildende (kunstharzhältige) Anstriche, Porenputze ("Sanierputze") und Hydrophobierungen wirken als deshalb Trocknungsblockade.³⁶ Die schnelle Verdunstung schränkt nicht nur die Möglichkeit der Eissprengung ein, sondern auch den Ablauf chemischer und biogener Verwitterungsprozesse. Lösliche Salze werden vor allem an der Oberfläche deponiert, ihre Salznadeln erscheinen als Ausblühungen, die entweder direkt abfallen, vom Wind weggeblasen oder manchmal von Schlagregen abgewaschen werden. Diesen natürlichen Prozess kann man durchaus auch als natürliche Salzverminderung bezeichnen.³⁷

Auch wenn man eine Fassadenoberfläche noch so gegen Eindringung (Infiltration) von Wasser schützt, sei es durch Schutzdächer, sei es durch "atmungsaktive", aber nicht wasserdurchlässige, filmbildende Anstriche, sei es durch Hydrophobierung, treten folgende zwei Feuchtigkeitsquellen an jedem historischen Bauwerk auf:

1. Thermische Kondensation:

Der Niederschlag von Wasser an und in der Mauer durch Abkühlung von Wasserdampf bis zum Taupunkt bzw. durch Sättigung der Luft mit Wasserdampf ist vor allem für Innenräume wohlbekannt. Kaum diskutiert wird dagegen die thermische Kondensation an Fassaden. Neuere Forschungen³⁸ belegen, daß an Fassaden (wie z.B. am Boden) fast jede Nacht und häufig bei und nach Niederschlägen an der Oberfläche Kondensfeuchtigkeit auftritt. Dabei kann wohl auch, vor allem im Frühjahr, wenn die Mauer insgesamt kalt ist, auch unter der Oberfläche mit Kondensfeuchtigkeit gerechnet werden. (Daneben kann immer auch hygroskopische Kondensation eine Rolle spielen). Bei sehr dichten Materialien mit entsprechend feinen Poren, z.B. bei Bruchsteinmauerwerk, spielt die Kapillarkondensation eine nicht unbeträchtliche Rolle.³⁹

2. Hygroskopische Kondensation

Obwohl das hygroskopische Verhalten löslicher Salze natürlich seit langem bekannt ist, wurde die Bedeutung dieses Phänomens für die Verwitterung von Wandmalerei und Architekturoberfläche lange nicht genügend beachtet.⁴⁰ Hierbei kommen vor allem die hydrophile Wirkung von löslichen Salzen, aber auch anderer Materialien wie Holz und Mikroorganismen in Frage. Wohl erst seit den Untersuchungen von Hubert Paschinger zu den Ursachen der Schäden an den romanischen Fresken von Lambach⁴¹ ist die Bedeutung hygroskopischer Feuchtigkeit stärker ins Bewußtsein der Fachwelt gerückt.⁴² In diesem Zusammenhang wurde auch beobachtet, wie die hygroskopische Kondensation zu sekundärer Ausbreitung der Feuchtigkeit führt. Gerade bei dichtem Bruchsteinmauerwerk können die "Feuchtigkeitsschäden", also die Schäden im Verputz, die vor allem durch Kristallisation löslicher Salze entstanden sind, oft eine Höhe von mehr als 3-4 Metern

³⁵ Hubert Paschinger, Fassadenanstriche, in: Restauratorenblätter 4, 1980, 99-108.

³⁶ eine hilfreiche Modellvorstellung: 1 l Wasser entspricht ca. 1 m³ Dampf, also einen ca. 1000 mal höheren (Poren-)Raumbedarf; freundlicher Hinweis Helmut Richard, Chem. Labor des BDA. Was mit hoher "Atmungsaktivität" von Sanierputzen beschrieben wird, ist nur eine Verdunstung in Dampfform durch einporöses System, und nicht annähernd so rasch wie die Verdunstung direkt an der Oberfläche.

³⁷ siehe Hammer 1985, 1990 und 1993.

³⁸ des Meteorologen Manfred Bogner auf Initiative von Restaurator Heinz Leitner im Auftrag des Bundesdenkmalamts, Abt. f. Konservierung. Messungen 1993/94 an der Südfassade von Schloß Parz bei Grieskirchen/OÖ, Wandmalereien E. 16. Jh.. In der warmen Jahreszeit (Juli bis Okt. 1993) war die Luftfeuchtigkeit in 50% aller Fälle höher als 90%. Im gleichen Messzeitraum waren Benetzung und Niederschlag nur in 43% der Fälle gleichzeitig; umgekehrt war die Fassade im Messbereich in 36% der Fälle ohne Niederschlag benetzt.

³⁹ siehe Helmut Weber, Mauerfeuchtigkeit, Sindelfingen 1986, 25.

⁴⁰ siehe z.B. Giorgio Massari, Humidity in Monuments, ICCROM 1975.

⁴¹ siehe Hammer 1987 a u.b, 1988 a u. b, 1991.

⁴² siehe z.B. Claus Ahrendt, Trockenlegung. Leitfaden zur Sanierung feuchter Bauwerke, Stuttgart 1983. Ahrendt zeigt u.a. Fotos aus der österr. Denkmalpflege.

erreichen, obwohl das Mauerwerk selbst nur eine bis ca. 50 cm reichende, geringe aufsteigende Feuchtigkeit aufweist.⁴³ Eine Horizontalisolierung ohne Verminderung der kristallisierenden Salze ist also oft nicht nur erfolglos, sondern kann im Zuge der Austrocknung erst Recht zu Salzschäden führen. Insbesondere bei Bruchsteinmauerwerk, das meist aus sehr dichtem Material besteht, und entsprechend nur geringe aufsteigende Feuchtigkeit aufweist, ist die Horizontalisolierung nicht nur technisch schwierig, sondern häufig sinnlos.

Neben der sogenannten "normalen" Feuchtigkeit, die in jedem historischen Bauwerk unvermeidlich vorkommt, gibt es **"zuviel" Feuchtigkeit**, (also jene Feuchtigkeit, die normalerweise Gegenstand der Diskussion ist). Die Quellen dieser Feuchtigkeit sind bekannt: Regen, schmelzender Schnee, Oberflächenwasser, Grundwasser. Ihnen wird durch die üblichen baulichen Maßnahmen begegnet: Horizontalisolierung des Fundaments⁴⁴, Verblechungen, Sockeldrainage, Dach- und Sockeldrainage, Dachvorsprünge, Gesimse, Geschoßbänder etc. Durch mangelnde periodische Pflege werden diese Schutzvorrichtungen unwirksam. Der Erhaltungszustand vieler historischer Verputze und Fassadenmalereien zeigt, daß jeder, auch ein kleiner Dachvorsprung eine schützende Wirkung hat. Andererseits kann aber nicht eine direkte Relation zwischen Benetzung und Verwitterung bestehen, da Westfassaden oft besser erhalten sind als z.B. Nordfassaden. Grundsätzlich ist zwar immer mit mehreren, zusammenwirkenden Schadensfaktoren zu rechnen. Aber für sinnvolle Eingriffe müssen die Hauptursachen erkannt und evaluiert werden. Zum Beispiel konnte im Fall der Fassadenmalereien des Hofes von Burg Forchtenstein/ Burgenland als Hauptursache der Schäden an den Secco-Malereien Mikroorganismen festgestellt werden⁴⁵ und eine direkte Beziehung zwischen Länge der Sonneneinstrahlung (und damit schnellerer Trocknung und geringerem Wachstum von Mikroorganismen) und Erhaltungszustand gefunden werden.⁴⁶

Transport der Salze

Der Transport der löslichen Salze in den Kapillaren des porösen Baumaterials geschieht durch Verdunstung an der Oberfläche und durch Konzentrationsausgleich (Diffusion). Die Salze kommen nie rein vor, sondern immer als Mischungen verschiedener Salzarten, wobei natürlich bestimmte Salze mengenmäßig dominant sein können. Durch die Verdunstung, die naturgemäß in Nähe der Oberfläche stattfindet (vor allem bei leicht löslichen Salzen)⁴⁷, werden die Salzionen im Verdunstungsbereich konzentriert, die Salzlösung wird übersättigt, die Salze kristallisieren aus.⁴⁸ Arnold beobachtete die Fraktionierung der Salze beim Ausblühen (wie ein Chromatographie-Effekt): In der unteren Zone des Verdunstungsbereichs sind hauptsächlich weniger lösliche und weniger hygroskopische Sulfate und Carbonate vorhanden, während in der oberen Zone Chloride und Nitrate, also hoch hygroskopische Lösungen, konzentriert sind. Zugleich zeigen die Untersuchungen von Arnold und Zehnder⁴⁹, daß im Bereich des Verdunstungshorizonts eine eindeutige Konzentration aller löslichen Salze vorliegt, was auch für die Praxis der Salzverminderung bedeutsam ist. Unter dem Verdunstungshorizont, bei aufsteigender Feuchtigkeit direkt über dem Boden bzw. über einer Sperrschicht, ist die Oberfläche durch die anhaltende Grundfeuchtigkeit oft stark versintert und weniger zerstört. Die einerseits versinternde, also festigende und andererseits an der Trocknungsgrenze durch lösliche

⁴³ vom Autor mit der CM-Methode (inkl. ELF, Klima, siehe unten: Untersuchungsmethoden) außer Lambach/OÖ, roman. Wandmalerei unter anderen gemessene Beispiele: Eferding/OÖ, Spitalkirche, innen, Seitenschiff N-Wand (1984): Schäden bis in 6 m Höhe, wahrscheinlich zusätzliche Salzanreicherung durch Infiltration während eines Dachschadens; Dürnstein/NÖ, ehem. Stiftskirche, Krypta (1986).

⁴⁴ Auch historische Bauwerke haben meist eine Horizontalisolierung des Fundaments: Dichtes Bruchsteinmauerwerk, auch unter Ziegelmauerwerk, Lehm als Mauermörtel im Sockelbereich (z.B. Schlierbach/OÖ, Kreuzgang: Bruchstein/Lehm; mit Lehm gemauerte Ziegel als Fundament sind in ländlichen Gegenden z.B. Langenlois/NÖ bis in unser Jahrhundert üblich)

⁴⁵ Untersuchung durch Karin Petersen, Univ. Oldenburg und das Chem. Labor des Bundesdenkmalamts (Hubert Paschinger und Helmut Richard)

⁴⁶ Hammer 1993. Inwieweit Kapillarkondensation bei den meist hochporösen Systemen Verputz und Wandmalerei als Feuchtigkeitsquelle in der Praxis relevant ist, kann ich nicht sagen.

⁴⁷ Matteini 1991, 140 f

⁴⁸ Nach Zehnder & Arnold & Spirig 1985, 34 bzw. Arnold & Zehnder 1991, war in den Fallbeispielen die (periodische) Kristallisation der Salze Hauptursache.

⁴⁹ Arnold & Zehnder 1991, 110, fig. 2 a-d: alle Salzarten haben ungefähr an der selben Stelle (Höhe) ihren Peak.

Salze zerstörende Funktion von Feuchtigkeit zeigt sich auch an dem Phänomen der Zellenbildung entlang der Mikro-Schwundrisse eines Kalkputzes.

Bedingungen für Ausfällung und Kristallisation

Lösliche Salze kristallisieren unter zwei Bedingungen: 1. in einer gesättigten wässrigen Lösung und 2. durch hygroskopische Reaktion auf einer Materialoberfläche.⁵⁰

Für jedes lösliche Salz gibt es für diese hygroskopische Reaktion einen charakteristischen Wert der relativen Luftfeuchtigkeit (RLF) bei gegebener Temperatur (und gegebenem Luftdruck) (Gleichgewichtsfeuchtigkeit). Das heißt, daß eine gesättigte Salzlösung auf der Maueroberfläche bei Unterschreiten eines bestimmten Werts der RLF auskristallisiert. Arnold und Zehnder weisen auf die bekannten großen Unterschiede des Werts der Gleichgewichtsfeuchtigkeit bei verschiedenen Salzen hin: zum Beispiel 33,5% RLF (bei 10°C) bei Magnesiumchlorid (Bischofit) und 98,2% RLF (bei 10°C) bei Kaliumsulfat (Arcanit). Zugleich weisen sie aber auch darauf hin, daß die üblicherweise vorkommenden Salzmischungen eine eigene Gleichgewichtsfeuchtigkeit aufweisen, die nicht ein Durchschnitt der Gleichgewichtsfeuchtigkeit der einzelnen ausblühenden oder durch Extraktion bzw. Proben gefundenen Salze darstellt.⁵¹ Diese für das Salzgemisch gültige Gleichgewichtsfeuchtigkeit ist aber offenbar je nach Salzmischung und konkreten Bedingungen unterschiedlich.⁵² Für die Praxis entscheidend scheint also die Gleichgewichtsfeuchtigkeit der Salzmischung und nicht der einzelnen Salze. Die bisher empirisch belegten Werte für die Gleichgewichtsfeuchtigkeit liegen zwischen 60% und 70% RLF.

Eine weitere wichtige Bedingung für die Kristallisation ist die Temperatur. Es ist bekannt, daß die Löslichkeit der meisten Salze mit steigender Temperatur höher ist. Entsprechend ist auch die Gleichgewichtsfeuchtigkeit niedriger, die Salze kristallisieren eher.⁵³

Kristallformen, Schadensmechanismen

Die Salze kristallisieren entweder an der Oberfläche, wo sie Ausblühungen verschiedener Formen oder Krusten bilden, oder unter der Oberfläche, im Inneren des porösen Systems (Subfloreszenz). Die Art der Kristalle hängt ab von der Porenstruktur des Materials, der Salzart, der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit und von der Form des Films der Salzlösung an der Oberfläche.⁵⁴ Die Beobachtung, daß die Salznadeln (whiskers) lineare Wachstumsdrucke entwickeln und nicht allseitige Drucke⁵⁵, ist für die Praxis sehr bedeutsam. Sie bietet eine Erklärung dafür, warum nicht jede Salzkristallisation Schäden verursacht. Solange also die Salze großteils direkt an der Oberfläche kristallisieren, solange also die poröse Oberfläche durchlässig ist für Wasser in flüssiger Form (nicht nur in Dampfform) und genügend Porenraum vorhanden ist, der als Substrat für die Bildung der Salznadeln dienen kann, erscheinen die löslichen Salze als zunächst nicht schädliche Ausblühungen. Zugleich kann mit dieser Beobachtung auch eine Begründung dafür geliefert werden warum eine Senkung der Salzkonzentration durch Kompressen konservierenden Effekt hat. Mit der Menge der Salze nimmt natürlich der Anteil der Salze, die im Trocknungsvorgang unter der Oberfläche kristallisieren, und dort sicher Schäden verursachen, zu.

Die Salze sind senkrecht zur Oberfläche recht mobil und wandern periodisch ein und aus.⁵⁶ Welche und wieviel Salze wo unter der Oberfläche abgelagert werden, hängt wohl von der Löslichkeit der Salze, der Menge der Feuchtigkeit und den Trocknungsvorgängen ab, d.h. auch von der Frage, wann und wo der Kapillarfaden mit der Salzlösung abreißt. Matteini weist auf die Bedeutung der topographischen Definition der

⁵⁰ Arnold 1981; Amoroso & Fassina 1983.

⁵¹ Arnold & Zehnder 1991, 130. Im Fall Mústair fanden sie eine Gleichgewichtsfeuchte von 60%.

⁵² In den Fällen Lambach und Nonnberg fanden wir je eine Gleichgewichtsfeuchtigkeit von ca. 70 %. Allerdings beobachteten wir auch, daß die Kristallisation mit einer gewissen Verzögerung (von ca. 5% RLF) eintritt, also erst bei einer RLF von weniger als ca. 65%; siehe Hammer 1987 a, 1988 b, 1991; Hammer & Lux 1990.

⁵³ Arnold & Zehnder 1991, fig. 17; Hammer 1991, 47.

⁵⁴ Arnold und Zehnder 1988 und 1991, 116.

⁵⁵ Zehnder -& Arnold & Spirig 1985, 34.

⁵⁶ Arnold 1979, 179.

Gipsablagerung in der Wandmalerei für die Einschätzung der Schadenswirkung hin.⁵⁷ Für eine Topographie der Salzablagerung bedeutsam ist auch die Tatsache, daß Wandmalerei ein mehrschichtiges System mit unterschiedlicher Porosität darstellt. Die Kristallisation ist dann besonders gefährlich, wenn sie periodisch stattfindet, wenn also die Klimabedingungen häufig um die Gleichgewichtsfeuchtigkeit schwanken⁵⁸. Die praktische Bedeutung der Hydratation von Salzen außer der von Gips scheint unklar. In den Schweizer Fallstudien spielt Hydratation "eine sehr untergeordnete Rolle".⁵⁹ Vor allem bei Salz-Krusten (z.B. aus Gips, Magnesiumcarbonat, aber auch aus Calciumcarbonat) spielt die thermische Dilatation im Schadensprozess eine große Rolle. Zugleich wird durch solche Krusten die Trocknung verlangsamt, womit Eissprengung wahrscheinlicher wird und gleichzeitig Salze hinter der Kruste abgelagert werden (Subfloreszenz).⁶⁰ Die bei der Kristallisation (und Hydratation) entstehenden Drucke sind buchstäblich beindruckend: zwischen 10-100 N/mm²⁶¹. Bei der Umwandlung von Magnesiumcarbonat zu Magnesiumsulfat wirkt auf das Baumaterial eine Volumensvergrößerung von 430% ein.⁶² Die Porengröße- und -struktur ist ebenfalls ein wichtiger Parameter für die Schadensprozesse. Die Kristallisation beginnt in kleineren bis mittleren Poren (10⁻¹⁰ m bis 10⁻⁵ m).⁶³ Mikroporen (also Kapillaren mit einem Porenradius von weniger als 10⁻¹⁰ m) können nicht mit Wasser gefüllt werden.⁶⁴

Schadenswirkung

Die Auswirkungen der Kristallisation der Salze hängen wesentlich von der Porenstruktur des Materials ab. Besonders für Wandmalerei und Verputz muss, wie für alle Beschichtungstechniken, eine inhomogene Porenstruktur vorausgesetzt werden. Wie Arnold und Zehnder zeigen konnten, kristallisieren die Salze im Trocknungsvorgang nicht nur an der Oberfläche, sondern -mit steigender Akkumulation und Konzentration der Salze- auch an den Schichtgrenzen⁶⁵. Ursprüngliche, im Herstellungsprozess aufgetretene Mängel im Kapillarkontakt zwischen den einzelnen Schichten werden dabei "gnadenlos" ausgenützt. Generell kann festgehalten werden, daß die Schäden nicht in einem linearen Prozeß auftreten. Was langsam mit Asubblühungen beginnt, wird in der Regel erst nach einiger Zeit, dynamisch zunehmend und senkrecht zur Oberfläche sich ausdehnend, zu einem auffallenden und zerstörenden Vorgang. Salze sind immer vorhanden. Erst wenn das poröse Gefüge, das beim Verputz als Verklammerung amorpher Calcitkristalle mit mineralischen Materialien verstanden werden kann, durch außergewöhnliche mechanische und chemische Belastungen genügend lange gelockert ist, kann der eigentliche Zerstörungsprozeß einsetzen. Typische, auf Kristallisation von Salzen zurückführbare Schadensformen⁶⁶ sind Hohlräume hinter Verputz und Malschicht, Absplitterungen der Malschicht und des Putzes, Pulverisierung⁶⁷, Absanden und Alveolenbildung (Kraterbildung). Wenn sich kleinere Blasen bilden, ist oft mit dem Vorhandensein filmbildender Materialien zu

⁵⁷ Matteini 1991, 140, fig. 2; nach Arnold & Zehnder 1991, 116, sind diese Fragen für leicht lösliche Salze bisher zu wenig untersucht, siehe dazu: Rossi-Manaresi & Tucci 1991, 53; Tinzl 1994, 7; Matteini (ebenda) weist darauf hin, daß gut lösliche Salze wie Natriumnitrat oder Kaliumcarbonat eher an der Oberfläche auszublühen tendieren als in der Malschicht.

⁵⁸ siehe zusammenfassend Arnold & Zehnder 1991, 120 ff; Hammer 1987 a, 1988 b, 1991; Vergleiche z.B. die Straßenschäden durch Eissprengung, die nicht im tiefen Winter, sondern in den Übergangszeiten am stärksten sind.

⁵⁹ Zehnder & Arnold & Spirig 1985, 34.

⁶⁰ siehe Hammer 1985; Weber & Zinsmeister 1991, 1; thermische Ausdehnung von Salzkristallen, der osmotische Druck von Salzlösungen und die Quellwirkung feinporöser Salzansammlungen (Weber 1993, 98) sind in ihrer praktischen Bedeutung für den Schadensprozeß noch nicht in Fallbeispielen evaluiert; s. Tinzl 1994, 8.

⁶¹ Rösch & Schwarz 1991, 68; Esbert et al. 1991, 285-396.

⁶² Weber & Zinsmeister 1991, 44.

⁶³ Tinzl 1994, 10; Arnold & Zehnder 1991, 118: "In der ersten Phase entstehen Salzkristalle hauptsächlich in Poren von ungefähr 1-10µm. Kleine Kapillaren und große Hohlräume bleiben eher leer" (Übers.: Ha). Hilbert et al. 1992, Kap. 7, beobachteten, daß "... Salzkristalle in der ersten Phase einheitlich in Poren hoher Kapillar-Aktivität entstanden, mit Porenradien von 0,1-15 µm".

⁶⁴ Weber & Zinsmeister 1991, 18.

⁶⁵ Arnold & Zehnder 1991, 116-120.

⁶⁶ Die Bezeichnung Schadensform oder Schadensphänomen ist korrekter (und schöner) als der die Interpretation der Schadensformen und -phänomene vorwegnehmende, unschöne Begriff "Schadensbild".

⁶⁷ in Österreich kann man eine Malschicht, wie jeder Kenner der Umgangssprache verstehen wird, nicht als "pudernd" bezeichnen.

rechnen (z.B. Acrylatfixierungen der Oberfläche).⁶⁸ Größere Blasen in Verputzen sind aber in der Regel auf die Wirkung von Eissprengung zurückzuführen und treten dort auf, wo größere Wassermengen eindringen können und nicht genügend rasch verdunsten, sie sind oft ein Zeichen für die Spätphase eines Verfallsprozesses.

Allgemein wäre es also ein Fehler, wenn man aus der Art der Schadensformen direkt auf die Schadensursachen schließen würde. Einerseits können die gleichen Schadensformen verschiedene Ursachen haben, andererseits ist oft mit synergistischen, durch das Zusammenwirken verschiedener Schadensfaktoren bestimmten Effekten zu rechnen.

Pulverisierung einer Malschicht kann durch Salzkristallisation, aber auch die chemische Umwandlung des Bindemittels Kalk (z.B. Vergipsung) oder durch biogene Vernichtung des organischen Bindemittel einer Seccomalerei, aber auch durch alle drei Faktoren zusammen geschehen.

Die häufig zu beobachtende "Zermürbung", also mangelnde Festigkeit von Verputzen kann ebenfalls verschiedene, zusammenwirkende Ursachen haben: Voraussetzung ist meist eine Trocknungsblockade in Form einer dichten Malschicht, einer starken Kalk-Versinterung der Oberfläche (bei gleichzeitigem Verlust von Bindemittel in der Tiefe der Verputzschicht), durch häufige, stark versinterter Kalkanstriche, durch zu starke mineralische Fixierungen und Konsolidierungen, durch hygroskopische Salze, durch Salz- und Schmutzkrusten (z.B. Magnesiumcarbonat, Gips), durch alle modernen, filmbildenden Anstriche und Fixiermittel (die zwar dampfdurchlässig sind, aber nicht wasserdurchlässig) und durch Hydrophobierungen. Durch die Trocknungsblockade (Einschränkung der Geschwindigkeit der Trocknung) ist sowohl die Möglichkeit der Eissprengung höher, als auch die Möglichkeit für chemische Prozesse (z.B. Vergipsung) und für die Bildung von Mikroorganismen. Die löslichen Salze kristallisieren in der Verdunstungszone, also in der Regel hinter der Trocknungsblockade und zerstören im Lauf der Zeit die Kohäsion des Materials. Zu wenig beachtet wird in der Literatur die thermische Dilatation, die an allen verputzten und bemalten Fassaden, die von der Sonne beschienen werden, besonders intensiv natürlich auf den Südseiten, auftritt. Dabei treten oft Scherspannungen auf, weil durch die Herstellungstechnik, durch die Folgen der Verwitterung, aber auch zusätzlich durch moderne Reparatur- und Schutzmaterialien inhomogene Strukturen entstehen:

Lösliche Salze können auch die Wirkung von Konservierungsmaßnahmen beeinträchtigen: Sie vermindern die kapillare Aufnahmefähigkeit von Konsolidierungsmitteln, etwa von Kieselsäureestern.⁶⁹ Na-, Ka- und Ca-Nitrate behindern die Behandlung mit Bariumhydroxid.⁷⁰ Horizontalsperren und Hydrophobierungen auf Siliconbasis verlieren ihre Wirkung.⁷¹ Die Entscheidung für eine Methode der Festigung und Fixierung setzt die Erkenntnis sowohl des Schadensphänomens wie auch der Schadensursache voraus: Nach Mora⁷² muß zwischen Mängeln der Kohäsion, die durch Konsolidierung (Festigung) behoben werden, und Mängeln der Adhäsion, die durch Fixierung behoben werden, unterschieden werden (auch wenn manchmal die Übergänge fließend sind).

THERAPIE

Untersuchung

Untersuchungsmethoden

Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Erkenntnismethodik

Schadensbegriff

Normalität des physikalischen Systems

Dynamik der Schadensprozesse

Methoden der Salzbehandlung

Baureparatur oder "Bausanierung"

ursprünglicher Baumangel bezüglich Feuchtigkeitsschutz

⁶⁸ siehe Restaurierung der Ghirlandaio-Fresken in Santa Maria Novella, Florenz. Matteini et al. 1990; siehe auch Hammer et al. 1983.

⁶⁹ siehe Hammer 1988 b, 1991; Windsheimer et al. 1991, 1.

⁷⁰ Matteini 1991, 145 f.

⁷¹ Fritsch & Schamberg 1988, 171.

⁷² Mora et al. 1977 (1983); Mora 1984.

- Trockenlegung:
 - Verhinderung des Zuflusses und Abtransport von bodennahen Wässern
 - Verhinderung des aufsteigenden Kapillartransports
- Klimatisierung gegen thermische Kondensation
- Herrschende Praxis:
 - Vernachlässigung der Ursachen (Salze)
 - Kosmetik: "Sanierputze", Zementvorspritzer
- Reparatur der natürlichen Verwitterungsschäden
- Schutz vor besonderen neueren Belastungen
- Entfernung ungeeigneter "Sanierungs"-Materialien und ihrer Folgen.
- Direkte Behandlung der Salze:
 - Klimatisierung
 - Salzverminderung
 - Mechanische Entfernung
 - Austrocknen und mechanische Entfernung
 - Wässrige Lösung und Abtransport:
 - feuchte Reinigung, Spülung
 - Kompressen:
 - Anwendungsgeschichte
 - Wirkungsweise
 - Materialien
 - Kompressenverputz
 - Chemische Umwandlung von Salzen und Abtransport
 - Säuren
 - Hexafluorkieselsäure
 - AB 57
 - Natriumthiosulfat
 - Ammoniumcarbonat
 - Hirschhornsalz
 - Ionenaustauschharze
 - Elektrochemische Verfahren
 - Immobilisierung der Salze
 - Ba- und Strontiumsalze
 - Bariummethode
 - Vorfixierung

Untersuchungsmethoden

Jedem Eingriff am Altbau, nicht nur am denkmalgeschützten Bauwerk, muß eine Untersuchung vorausgehen.⁷³ Die besondere Verantwortung gegenüber den "historischen, künstlerischen oder sonst kulturellen Werten" (DSchG), die es im Denkmal zu schützen gilt, erfordert eine entsprechende Untersuchung und Dokumentation (Befundsicherung).⁷⁴ Die Tatsache, daß Architekturoberfläche und insbesondere Wandmalerei technologisch Teil der Gesamtarchitektur ist, muß sich auch in der Untersuchungsmethode widerspiegeln. Die Befundsicherung erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit, im technologischen Bereich vor allem mit Naturwissenschaftlern und Architekten/Statikern. Zugleich haben aber die Restaurator(inn)en eine Mittlerstellung.⁷⁵ Da sie im Rahmen der Untersuchung Eingriffe vornehmen und auch die konservatorischen Vorgaben im direkten Eingriff umsetzen müssen, sind sie in besonderer Weise dazu aufgerufen, die Untersuchungsergebnisse eingrifforientiert zu interpretieren. Wenn eine interdisziplinäre Untersuchung nicht möglich ist (was in der Praxis nicht selten vorkommt), dann gehört es zur restauratorischen

⁷³ Hammer 1988; siehe auch: I. Hammer, Zielsetzungen und Möglichkeiten der bildlichen und grafischen Darstellung in der Dokumentation, in: SKR - DRV - ÖRV (eds.), Dokumentation in der Restaurierung. Vorträge der Restauratorentagung in Bregenz 1989, Salzburg 1994, 51-67.

⁷⁴ Dieser von Schießl in die Diskussion eingeführte Begriff (der sich an Begriff und Inhalt der "Spurensicherung" orientiert (siehe Ulrich Schießl, Befundsicherung in der Restaurierung, in: Hans Belting et al. (Hrsg.), Kunstgeschichte. Eine Einführung, Berlin/W. 1986,) beschreibt die Tätigkeit präziser als der etwas abstruse Begriff "Befunduntersuchung" (soll der Befund untersucht werden?)

⁷⁵ siehe Ernst Bacher, Restaurator und Naturwissenschaft, (autorisierte Mitschrift von Ivo Hammer), in: Konservieren und Restaurieren, Mitteilungen des Österreichischen Restauratorenverbandes 1/1987; siehe auch den methodologisch fundamentalen Aufsatz von Andreas Arnold, Naturwissenschaft und Denkmalpflege, in: Deutsche Kunst und Denkmalpflege 45, 1987 / 4, 2-11.

Ethik, bei der Untersuchung z.B. einer Wandmalerei auch die Dachdeckung und den Zustand der räumlich angrenzenden Wände zu berücksichtigen (oder zumindest eine entsprechende Untersuchung zu verlangen). Zu der restauratorischen Untersuchung im Bereich Wandmalerei und Architekturoberfläche gehören nicht nur die üblichen historischen und technologischen Daten zur Bau- und Gestaltungsform, zur Art und Herstellungsweise der Materialien, zur Geschichte und Technik der späteren Veränderungen und schließlich zum Zustand und den Schadensphänomenen jeder historisch relevanten Phase. Auch wenn eine exakte Untersuchung bauphysikalischer Parameter wie Raum- und Mikroklima, Mauerfeuchtigkeit, Herkunft der Feuchtigkeit und die chemische und mineralogische Analyse ohne entsprechende wissenschaftliche Untersuchung kaum möglich ist, kann im Zuge der restauratorischen Untersuchung orientierende Vorarbeit geleistet werden:

- genaue Untersuchung, Beschreibung und Dokumentation der Schadensphänomene unter Einsatz entsprechender optischer Hilfen wie Stirnlupe, tragbares Mikroskop, Streiflicht
- Festlegung, Beobachtung und Dokumentation von Referenzflächen
- Klimamessung während der Untersuchung: Temperatur, RLF, Mauertemperatur
- Elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche
- Feuchtemessung auf kapazitiver Basis
- CM-Messung⁷⁶

Wenn zum Beispiel die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Oberfläche bei 80% RLF signifikant höhere Werte ergibt als die gleiche Messung bei 50 % RLF, ist ein Indiz für die Existenz hygroskopischer Salze an der Oberfläche gegeben. Senkrecht zur Oberfläche nach innen abfallende absolute Feuchtigkeit, gemessen mit der CM-Methode, bei gleichzeitig hohen Werten⁷⁷ der elektrischen Leitfähigkeit bzw. elektrischen Kapazität (bei einer gegebenen RLF), weist darauf hin, daß die Ursache der Schäden nicht in akuter aufsteigender Feuchtigkeit zu suchen sind, sondern in thermischer Kondensation oder in der hygroskopischen Wirkung löslicher Salze.

Auch während der Untersuchung besteht schon eine Verantwortung für Erhaltung des Denkmals. Bauliche Maßnahmen mit dem Ziel der Trocknung dürfen also nur in Koordination mit den restauratorischen Untersuchungen und Maßnahmen durchgeführt werden.

Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Therapie der Schadensursachen setzt eine möglichst genaue Kenntnis der Schadensprozesse voraus.⁷⁸ Dabei sollte nicht vergessen werden, daß Erkenntnis der Zusammenhänge verschiedener Methoden bedarf: Sowohl der naturwissenschaftlich - analytischen wie der phänomenologischen wie der empirisch - praktischen. Erst im Zusammenwirken aller drei Methoden und in der gesamthaften Interpretation von Einzelergebnissen kann man hoffen, der physischen und ästhetischen Realität des Denkmals ein wenig näher zu kommen.

1. Schadensbegriff:

Zunächst geht es um die Definition der Phänomene, die als Schäden zu interpretieren sind. Nicht jede Veränderung der Oberfläche ist ein Schaden. Es gibt natürliche Alterungsphänomene, und es gibt Veränderungen, die anzeigen, daß das Objekt in unnatürlich schnellem Verfall begriffen ist. Denkmalpflege und Restaurierung können sich nicht anmaßen, die Zeit und das Altern aufzuheben. Ähnlich wie in der Medizin (Krankheitsbegriff!) können nur dramatische Verfallsprozesse gestoppt und insgesamt die Alterung verlangsamt werden. Auch in der Architektur gibt es kein Material, das nicht verwittert.

2. Normalität des physikalischen Systems:

Definition der Schadensphänomene schließt die Erkenntnis der normalen Alterungsprozesse mit ein. Wie im physischen Leben können Alterungsprozesse als normaler Existenzprozess bezeichnet werden. Zu fragen ist, sowohl mit naturwissenschaftlichen wie mit empirischen Methoden, nach der Wirkungsweise des

⁷⁶ Genauere Angaben zu diesen Messmethoden siehe Hammer 1988 d

⁷⁷ jeder einzelne Wert der elektrischen Leitfähigkeit ist bei dieser Messmethode zwar irrelevant, aber statistisch dennoch signifikant.

⁷⁸ Arnold 1987 (zit. Anm. 75).

physikalischen Systems, das aus porösen Baustoffen zusammengesetzt ist. Zu fragen ist auch nach den für die Erhaltung des Objekts günstigen Faktoren. Also auch die Frage: Warum ist das Denkmal erhalten geblieben und warum in diesem konkreten Zustand? (Materialeigenschaften, historische Schutzvorrichtungen).

Wenn auch die Bandbreite der historischen Technologie in Wandmalerei und Architekturoberfläche sehr groß ist⁷⁹, hat historische Architektur und ihre (bemalte) Oberfläche in unserem Kulturkreis eine gemeinsame Charakteristik, die man als Eigenschaften poröser Baustoffe charakterisieren kann.⁸⁰ Matteini-Moles nennen drei wesentliche Charakteristika des chemo-physikalischen Systems Wandmalerei:

- Erhöhte Porosität (leicht zugänglich für flüssige und gasförmige Schadstoffe, z.B. Salzlösungen, Luftschadstoffe, Wasserdampf, Lösungen von Restauriermaterialien etc.)
- Offenes, nicht isoliertes System, in Kontakt mit Architektur und Umgebung und deren chemischen, biologischen und physikalischen Faktoren
- Nicht autonomes Mikroklima.

Hinzuzufügen wäre die Mehrschichtigkeit von Verputz und Malschicht und die gegenüber Natursteinen wesentlich höhere Porosität von historischen Verputzen.

3. Dynamik der Schadensprozesse:

Schadensprozesse wirken weder zeitlich noch in der Intensität linear. Die Interpretation der Schadensphänomene in ihrer Bedeutung für die Verfallsprozesse eines Objekts muß ausgehen von einer begründeten Theorie der Dynamik der Schadensprozesse. Es ist nicht gleichgültig, ob z.B. durch lösliche Salze verursachten Schäden mit einer rezenten Infiltration (z.B. durch eine verstopfte Dachrinne) zusammenhängen oder Ergebnis einer jahrhundertlangen Konzentration der Salze an der Oberfläche sind. Die Antwort auf die Frage nach der Dynamik der Schadensprozesse bestimmt die Dringlichkeit des konservatorischen Eingriffes.

METHODEN DER SALZBEHANDLUNG:

Die folgende kommentierte Aufzählung soll einen Überblick verschaffen über die möglichen Methoden der Salzbehandlung. Im einzelnen können diese Methoden im gegebenen Rahmen nicht diskutiert werden.

BAUREPARATUR UND "BAUSANIERUNG"

Baureparatur im Zusammenhang mit der Schadenswirkung löslicher Salze heißt vor allem Behebung jener Baumängel, die mit der Entstehung und dem Transport von übermäßiger, schädlicher Feuchtigkeit (und damit von Salzlösungen) zusammenhängen. Wie oben ausgeführt, ist es im historischen Bauwerk und seiner physikalischen Struktur unmöglich und bautechnisch sogar falsch, die Entstehung jeglicher Feuchtigkeit zu verhindern. Es geht um die **Beseitigung und Verhinderung von zuviel Feuchtigkeit**. Allgemein können die Reparaturmaßnahmen dabei aus folgenden Gründen notwendig sein:

1.) Ursprünglicher Baumangel bezüglich Feuchtigkeitsschutz:

Historische Bauten sind meist unter Berücksichtigung der traditionellen Erfahrungen im Umgang mit Witterungseinflüssen hergestellt. Fehlerhaft hergestelltes, wie etwa die Wiederverwendung von kontaminiertem Baumaterial, hat sich durch vorzeitige Verwitterung oft von selbst selektiert. Auch historische Bauten haben häufig eine Horizontalisolierung: sei es in Form von dichtem Bruchsteinmauerwerk, sei es durch Lehm als Mauermörtel, der auch noch in ländlichen Bauten des frühen Zwanzigsten Jahrhunderts zu finden ist.⁸¹ Dachrinnen werden wahrscheinlich erst im 18. Jahrhundert üblich.⁸² Schlecht gewartete, verstopfte Dachrinnen sind schädlicher als gar keine. Wasserschlaggesimse, in einem von Erfahrungswissen bestimmten

⁷⁹ Siehe A. Knoepfli - O. Emmenegger - M. Koller - A. Meyer, Wandmalerei. Mosaik (Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken Band 2), Stuttgart 1990.

⁸⁰ siehe Matteini & Moles 1990 a, 155; Ferroni 1972; Torraca 1986.

⁸¹ In Schlierbach/OÖ, Zisterzienserstift, Kreuzgang, 17. Jh., besteht der Mörtel des Bruchsteinmauerwerks aus Lehm. Die Verwendung von Lehm im Profanbau als Grundputz (mit Hächsel vermischt) ist gar nicht selten. Interessant wäre die Erforschung historischer Formen der Sockeldrainage (Rollierung o. ä).

⁸² eine frühe, 1733 datierte Kupferdachrinne, kombiniert mit Wasserspeiern, existiert bis heute im oberen Burghof von Forchtenstein/Burgenland, siehe Hammer 1993.

Abstand angebracht, können, wie das Beispiel des Kirchturms von Weißenkirchen/NÖ (Wachau) zeigt, die übermäßige Verwitterung des rauhen Verputzes von 1502 bis heute verhindern.⁸³ Die Reparatur von Baumängeln muß also auch von der Frage ausgehen, was von den vorhandenen Schutzeinrichtungen am Bauwerk funktioniert. Zusätzliche Schutzeinrichtungen, wie etwa Verblechungen von Gesimsen und Solbänken⁸⁴, sollten eher unter dem Aspekt des langfristigen Schutzes beurteilt werden als unter kurzfristigen ästhetischen Gesichtspunkten, die letztlich die Existenz des Bauteils gefährden.

Wenn von **Trockenlegung** gesprochen wird, sind meist nur zwei Maßnahmen gemeint:

- **Verhinderung des Zuflusses (Infiltration) und Abtransport von bodennahen Wässern** durch Rollierung (die den kapillaren Wassertransport verhindert) und Drainage. Die Wartungsprobleme einer Drainage sind bekannt. Weniger beachtet wird oft, daß man durch die Rollierung auch die Verdunstungsfläche im bodennahen Bereich vergrößert und damit die Verdunstungsgrenze absenken kann.⁸⁵ Es ist also in der Regel falsch, die Fundamentwände durch Beton, Bitumen oder ähnliches abzudichten.⁸⁶ Auch die Abdichtung der Sockelbereiche mit dem üblichen Zementsockel oder ähnlichem wassersperrendem Material, ist durchaus fragwürdig. Die Verdunstungsoberfläche wird vergrößert, damit der Verdunstungshorizont angehoben, und zusätzliche, schädlichere Salze werden durch den Zement ins Mauerwerk eingebracht. An historischen Bauwerken ist der Sockelbereich häufig als schnell trocknende, ständig zu pflegende Verschleißzone vorgesehen. Die entsprechenden äußerlichen Schadensphänomene wurden akzeptiert, weiterreichende Schäden vermieden.

- **Verhinderung des aufsteigenden Kapillartransports (Grundfeuchtigkeit):**

Entscheidend ist, daß vor jedem Eingriff die Notwendigkeit und technische Möglichkeit der Horizontalisierung verifiziert wird. Im Rahmen des Bundesdenkmalamts konnten wir bei Bruchsteinmauerwerk mit Hilfe der genannten Messmethoden (Raumklima, CM, elektrische Leitfähigkeit der Oberfläche, elektrische Kapazität im Oberflächenbereich) wahrscheinlich machen und empirisch bestätigen, daß die aufsteigende Feuchtigkeit relativ gering ist und nicht sehr hoch reicht. Das heißt, daß die Schäden an der Oberfläche auf die Wirkung löslicher Salze zurückzuführen sind, die in jahrzehnte- oder gar jahrhundertelangen langsamen Trocknungsprozessen aufkonzentriert wurden und durch hygroskopische und thermische Kondensation und Kristallisation den Schadensprozess in Gang halten und weiterführen. Eine Horizontalisierung ohne Verminderung der oberflächennahen Salzkonzentration ist, wie bereits erwähnt, in diesem Fall nicht nur technisch schwierig, sondern meist sinnlos.⁸⁷ Ähnliches kann durchaus für Ziegelmauerwerk gelten. Gerade im städtischen Bereich ist die Möglichkeit der Horizontalisierung wegen der Feuermauern und des hoch anstehenden Straßen- und Hofniveaus oft sehr eingeschränkt. Auf die technischen Probleme der verschiedenen Methoden der Horizontalisierung kann hier nicht näher eingegangen werden.⁸⁸ Die Verfahren der mechanischen Trennung (durch Folien, Bleche oder ähnliches) sind zwar oft sehr aufwendig, bringen aber am ehesten nachweisbare Erfolge. Die Infiltration oder das Einpressen von Materialien, die zur Blockade oder Hydrophobierung der Kapillaren führen sollen, hat nicht nur in der Vergangenheit zu weiteren Salzschäden geführt (Zement, Kaliwasserglas!), sondern ist - mit welchem Material auch immer - in der Vollständigkeit der Abdichtung und auch in deren Haltbarkeit

⁸³ siehe Hammer 1990.

⁸⁴ in der Regel mit Zinkblech. Kupferbleche erzeugen grüne Salze. Verschiedene Bleche können im sauren Milieu zu elektrolytischen Korrosionsprozessen führen.

⁸⁵ Versuche, die Trocknungsgeschwindigkeit durch Lüftungsöffnungen (z.B. durch Knapensche Röhrchen) zu erhöhen, erwiesen sich als Fehlschlag. Durch Begünstigung thermischer Kondensation haben sie zur Befeuchtung der Mauer beigetragen.

⁸⁶ siehe Jürgen Pursche, Die Kirche St. Jakobus d. Ae. in Urschalling. Materialien für die Geschichte der Gebäudesanierung als Fallstudie, in: Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei, Vortragstexte der dritten Fach- und Fortbildungstagung der Fachklasse Konservierung und Restaurierung, Schule für Gestaltung Bern, 5.u.6. Nov. 1985, Bern 1985, 132-142.

⁸⁷ auf Grund dieser Einschätzung wurde an mehreren Objekten eine geplante Horizontalisierung verhindert: z.B. Lambach/OÖ, Stiftskirche, roman. Wandmalerei (siehe Hammer 1991); Volders, Schloß Friedberg, Wandmalerei um 1510; Eferding/OÖ, Spitalkirche, Innenraum, 14.-17. Jh.; Dürnstein/NÖ, ehem. Stiftskirche, Krypta, 17. Jh.

⁸⁸ siehe Arendt 1983.

fragwürdig. Elektroosmotische Verfahren sind bezüglich nachprüfbarer Effektivität und Haltbarkeit ebenfalls diskussionsbedürftig.

Nahezu allen marktüblichen Verfahren der Horizontalisierung gemeinsam ist, daß die Therapie der Salze, die bis zu dem Eingriff im Bereich der Mauer- und Verputzoberfläche konzentriert sind, vernachlässigt wird. Präventive **Maßnahmen gegen thermische Kondensation** in Innenräumen sind schon lange üblich. Bekannt sind die Lüftungslöcher in Gewölbekappen. Der Verschuß dieser Löcher, aber auch neue, dicht schließende Fenster behinderten die natürliche Luftzirkulation und damit die rasche Trocknung von Kondensfeuchtigkeit. Die Folge war die Entwicklung von Mikroorganismen und sekundäre Salzsäden.⁸⁹ Erst in jüngerer Zeit wurde durch gezielte Eingriffe in das Raumklima begonnen, die thermische Kondensation in Innenräumen zu kontrollieren. Die Notwendigkeit ergab sich vor allem durch Schäden an Einrichtungsgegenständen. Meist sind es kombinierte Verfahren mit Beheizung des Bodens, der Wände und kontrollierter Belüftung.⁹⁰ Eine bloße Trocknung der Luft verstärkt nur den Salztransport und führt ohne weitere Maßnahmen gegen Mauerfeuchtigkeit bzw. gegen hygroskopische Salze zu zusätzlichen Salzsäden.⁹¹

Herrschende Praxis:

Es mag erstaunlich klingen, wenn man feststellt, daß im Bereich der Architekturoberfläche bis heute die Maßnahmen gegen "Mauerfeuchtigkeit" (vor allem außerhalb der Denkmalpflege) überwiegend rein **kosmetischer Natur** sind.

Am deutlichsten wird dies bei den heute überall angewendeten **Sanierputzen**⁹²: Das Prinzip dieser Putze ist die Brechung des Kapillartransports von Wasser, entweder durch große Poren oder durch Hydrophobierung mit Siliconen. Wasser kann nur noch in Dampfform an die Oberfläche kommen, es wird dadurch unsichtbar. Durch die Porenputze wird der Mauer kein Gramm Feuchtigkeit entzogen, die Feuchtigkeit wird lediglich (eine Zeitlang) unsichtbar. Der Porenputz selbst hat zwar eine große Verdunstungsfläche, da die Verdunstung aber nur in Dampfform erfolgt, ist sie immer noch wesentlich langsamer als bei einer wasserdurchlässigen Oberfläche. Der in der Praxis oft recht dichte **"Zementvorspritzer"** wirkt in die gleiche Richtung, und verlangsamt die Verdunstungsgeschwindigkeit. Zudem werden durch den Zementgehalt des "Vorspritzers" schädliche Salze produziert. Mit der Feuchtigkeit notwendig transportierte Salze kristallisieren nun nicht mehr an der Oberfläche (Ausblühung), sondern werden an der Verdunstungsgrenze, also hinter dem "Vorspritzer" bzw. an der Kontaktzone zwischen "Vorspritzer" bzw. (Ziegel-) Mauer abgelagert. Der Porenputz wirkt auch als Trocknungsblockade, das heißt die Salznadeln, die sich im "Sanierputz" ablagern, wirken teilweise auch zerstörend auf die Maueroberfläche. Durch die Hygroskopizität dieser Salze entsteht zusätzliche Feuchtigkeit auf der Maueroberfläche, sodaß auch die wärmedämmenden Eigenschaften eines solchen Putzes nicht zum Tragen kommen.

Der sogar in der Verputz-Norm⁹³ vorgeschriebene Zement-"Vorspritzer" für jeden Verputz hat entgegen landläufiger Meinung keine direkt Haftungs- (Adhäsion) vermittelnde Funktion. Vielmehr bewirkt er lediglich eine gleichmäßige geringe Saugfähigkeit der Ziegeloberfläche und verhindert das Abwandern des Bindemittels des Verputzes in der Kontaktzone. Das mag vordergründig vorteilhaft erscheinen. Die Nachteile

⁸⁹ der jüngste Fall ist Altenburg/NÖ, Stiftskirche, Kuppelfresko von Paul Troger 1732-34: bei der jüngsten Konservierung der seit der Herstellung nie berührten Fresken durch Atelier Ernst Lux (1992-94) wurden die abdichtenden Fenster der Kuppellaterne wieder entfernt.

⁹⁰ siehe M.Koller et al., The abbey church at Melk. Examination and Conservation, in: Conservation within historic buildings, preprints of the IIC conference Vienna 1980, 102 ff; diesselben, Kirche und Prälatensaal von Stift Melk: Untersuchungen und Restaurierungen 1976-1980, in: ÖZKD 34.1980, 87-120; Johann Kräftner, Gedanken zur Renovierung der Stiftskirche Melk..., in: ebenda 124-129. Seit 1985 ist in der Stadtpfarrkirche Hallein/Sbg. ein (preisgekröntes) Klimaregulierungssystem mit automatischer Lüftung je nach Klimadifferenz außen-innen (nach Meisl), sozusagen ein "automatischer Mesner". Ähnliche Systeme in der Stiftskirche Schlägl/OÖ; Dürnstein/NÖ, Kreuzgang und Krypta (1990); Geras/NÖ, Stiftskirche; Wien 1, Deutschordenskirche, Sala terrena (ca. 1980); Temperierungsverfahren: H. Großeschiedt, Thermische Bausanierung und Klimastabilisierung im Musaeum und Architekturobjekt. Information Bauyr. Landesamt f. Denkmalpflege, Landesstelle für die Nichtstaatlichen Museen, München 1991; G. Masanz, Das "Temperiersystem" in der Bausanierung, in: ÖZKD 1990.

⁹¹ der 1975 durchgeführte Versuch in Lambach/OÖ, Stiftskirche, roman. Wandmalerei führte zur Verstärkung der Schäden (siehe Hammer 1987 a, 1988 b, 1991).

⁹² siehe Hilbert et al. 1992; Aktuelle Denkmalpflege. Informationen des Bundesdenkmalamtes, Nr. 3, Okt. 1989.

⁹³ Ö-Norm B 3344 und auch die Leistungsbeschreibung Hochbau (LBH) der Bundesbaudirektion nennt als Verputzmörtel nur den KZM-Mörtel. Damit werden wiederum im alten Mauerwerk kristallisierende Salze produziert. Sinngemäß ist Kalkputz für die Norm nur eine ("durch Erfahrung zu begründende") Ausnahme (S.9).

sind aber in einem Verständnis, das -lernend von der Geschichte der Bautechnologie- die Gesamtheit der bauphysikalischen Vorgänge zu begreifen versucht, evident: Der Kapillartransport wird (teilweise, je nach Dichte des Vorspritzers) unterbrochen, die Salze kristallisieren im Innern und zerstören mit der Ziegeloberfläche zugleich auch die Verbindung mit dem Verputz. Die Trocknungsblockade begünstigt zugleich chemische, biogene und physikalische Verwitterungsvorgänge. Dem Abwandern des Bindemittels des Verputzes, also des Kalkhydrats, in der Kontaktzone mit dem hochporösen Mauerziegel muß durch entsprechendes Vornässen und Vorschlämmen (Vorpatschokieren) begegnet werden. Zusätze von Kunstharzdispersion als "Haftvermittler"(obwohl lange angewandt) sind bei dieser Arbeitstechnik nicht notwendig und würden unerwünschte Filmbildung und Scherspannung erzeugen.⁹⁴



Abb. 4: Forchtenstein / Burgenland, Burg, innerer Hof, Fassadenmalerei 1687. Durch ein modernes Glasdach wird der Einfluß normaler Verwitterung auf die Fassadenmalerei verringert. Foto Hammer 1993

2.) Reparatur der natürlichen Verwitterungsschäden (Pflege)

Eine Kalktünche auf einer normalen mineralischen Oberfläche eines historischen Bauwerks hat nicht nur ästhetisch renovierende Funktion. Sie konsolidiert die durch Verwitterung (Vibration, thermische Dilatation, Eissprengung, Salzkristallisation und -hydratation, Vergipsung des Bindemittels Kalk, Mikroorganismen etc.) geschwächte Oberfläche, schützt die Fassade, indem sie die leichter löslichen Vergipsungen bedeckt und wirkt überdies biostatisch.⁹⁵ Auf diese Weise wird die Schutzfunktion der Oberfläche wieder "reaktiviert" und die Gesamalterung soweit hinausgezögert, daß der Gebrauchswert der Architektur erhalten bleibt.

3.) Schutz vor besonderen neueren Belastungen

Änderungen der Nutzung, Änderungen der Umgebungsbedingungen und besondere Verwitterungsbedingungen (trockene Deposition im städtischen Bereich) machen teilweise zusätzliche Schutzvorrichtungen notwendig: Genannt seien Schutzdächer und Abdeckungen (Verblechungen, temporäre Verschalungen in der kalten Jahreszeit). Die Behauptung aber, daß unter heutigen Umweltbedingungen Kalk für Fassadenanstriche, als Mörtelbindemittel oder als Kittungs- und Retuschiermaterial bei Wandmalereien

⁹⁴ siehe Hammer 1985, 1987, 1988 a, 1990, 1993; an verputztem Bruchsteinmauerwerk (Schwallenbach/NÖ, 15. Jh; Filialkirche, Weißenkirchen/NÖ, Pfarrkirche, Hauptturm, Verputz 1502); Leiben/NÖ, Schloß, A. 17. Jh. (gemischt mit Ziegel)) konnte ein unregelmäßiger "Vorspritzer" (mit der Mörtelpfanne geworfen) aus fast reinem Kalk beobachtet werden.

⁹⁵ siehe Hammer 1994.

nicht mehr in Frage kommt, ist eine Überschätzung des Schadensfaktors Luftverschmutzung und ein empirisch widerlegbarer Irrtum.⁹⁶

4.) Entfernung ungeeigneter "Sanierungs"-Materialien und ihrer Folgen

Seit mehr als hundert Jahren wird Portlandzement in Österreich an Architekturoberfläche eingesetzt⁹⁷, seit ca. 40 Jahren Kunstharzdispersionen.⁹⁸ Die Folgen der Kunstharzfärbelungen für die nach wie vor mineralischen Verputze sind heute evident⁹⁹: Hohlräume und Blasenbildungen, zahlreiche Risse, starke (elektrostatistische) Verschmutzung, Zermürbung des Verputzes, Befall mit Mikroorganismen, schwartenförmige Ablösung des (oft nach wie vor "intakten") Anstrichs. Auch wenn der (andernorts genauer beschriebene) Zerfallsprozess noch nicht so weit gediehen ist, steht die nächste Renovierung vor einem Dilemma: entweder muss mit hohen Kosten und durchaus nicht ungiftigen Chemikalien die Farbe abgebeizt werden, um die ursprüngliche offene Porosität wieder herzustellen, oder die Dampfdurchlässigkeit, meist biologisch "Atmungsaktivität" genannt, wird durch einen weiteren filmbildenden Anstrich nochmals drastisch eingeschränkt.

Der Arbeitsaufwand für die Entfernung von Zementschlämmen und Zementvorspritzern, von Kunstharze enthaltenden Fassadenfarben ist bekanntlich sehr hoch. Die für das Abbeizen einzusetzenden Materialien sind in der Regel nicht ungiftig. So wird der kurzfristige Kostengewinn bei Anwendung dieser Materialien am Altbau langfristig ein Kostenverlust.

Hydrophobierungen und deren beschriebene Wirkung auf das poröse Material Wandoberfläche können nicht einmal durch Abbeizen beseitigt werden. Sie verhindern in der Praxis die Fortführung historischer Reparaturtechniken mit kompatiblen Materialien.

Abschließend sei festgehalten, daß die bautechnischen Maßnahmen zur Reparatur des "Feuchtigkeitshaushalts" des Bauwerks erst dann durchgeführt werden dürfen, wenn die möglichen Folgen zusätzlicher Sprengwirkung von Salzen bedacht sind. und -vor allem bei Wandmalereien- durch Klimatisierung, Schutzverpackung oder erste Salzverminderung verhindert werden. Gefährdete wertvolle Teile müssen durch geeignete Schutzkaschierung, punktweise Fixierung oder sogar Teilabnahme gesichert werden. Bautechnisch sinnvoll ist es also, wenn die Eliminierung der schädlichen Mauerfeuchtigkeit mit der Verminderung der (hygroskopischen) Salze verbunden wird.

DIREKTE BEHANDLUNG DER SALZE:

Nach den Maßnahmen der Baureparatur und deren Relevanz für die Beseitigung schädlicher Feuchtigkeit sollen zum Schluß die Möglichkeiten der direkten Behandlung von schädlichen Mauersalzen angeführt werden. Diese Verfahren zur Behandlung der schädlichen Folgen der Salze lassen sich wie folgt untergliedern:

- **passive Methode: Klimatisierung**
- **aktive Methoden: Verminderung¹⁰⁰ oder Immobilisierung**

Klimatisierung

Die für die Kristallisationszyklen verantwortlichen Klimaschwankungen können im Innenraum durch Klimatisierung beseitigt werden. Im Prinzip geht es um die Herstellung einer relativen Luftfeuchtigkeit, die über der Gleichgewichtsfeuchtigkeit des vorhandenen Salzgemisches liegt, um es in Lösung zu halten. Zugleich

⁹⁶siehe Arnold 1987, 4.

⁹⁷ der früheste mir bekannte PZ-Verputz: Frastanz/Vorarlberg, Pfarrkirche, 1881, nach Plänen von Friedrich von Schmidt (Untersuchung BDA 1980. Der durchgefärbte, fein bearbeitete Verputz hält am Langhaus bis heute der Verwitterung stand (mit einer zarten, lasierenden Reparatur in Kaliwasserglas-Technik KEIM, ausgeführt von Kurt Scheel 1980), am Turm und am Presbyterium überlebte er allerdings nicht die Renovierungswut der Pfarrgemeinde.

⁹⁸ Torraca 1987. Der seit ca. 15-20 Jahren praktizierte "Vollwärmeschutz" von Fassaden, also die Beschichtung mit Platten aus Polystyren-Schaum oder Polyurethan und verputzt mit einem Kunstharz/Sandmörtel, kann wenigstens für die Denkmalpflege außer Betracht bleiben. Vielleicht wird sich ein auf dieses Material spezialisierter Mäusestamm entwickeln?

⁹⁹ siehe oben das Kapitel: Schadenswirkungen.

¹⁰⁰ Der häufig gebrauchte Begriff "Entsalzung" entspricht nicht wirklichen Verhältnissen. Andererseits scheint der auch in romanischen Sprachen und im Englischen verwendete Begriff Reduktion zu sehr verbunden mit der Bezeichnung für eine chemische Reaktion. Wir ziehen deshalb den Begriff Salzverminderung vor (Vorschlag Ernst Lux).

muss dafür auch die Temperatur möglichst stabil sein, um nicht spontane Kristallisation auszulösen¹⁰¹. Die Klimatisierung ist jedenfalls notwendig, wenn eine Vorfixierung durchgeführt werden muß, weil jede Kristallisation (etwa durch Lösungsmittelrocknung) den Effekt der Vorfixierung zunichte machen würde.¹⁰² Weiters kann durch die Klimatisierung auch Zeit gewonnen werden, wie im Fall der romanischen Wandmalereien von Salzburg Nonnberg. Die Wandmalereien waren durch Mikroorganismen und Salzsprengung unmittelbar vom Verfall bedroht. Ausgangspunkt der provisorischen Klimatisierung war die Frage, unter welchem Raumklima die Wandmalereien bis heute erhalten bleiben konnten. Es stellte sich heraus, daß die starke Zunahme des Verfalls vor allem mit der 1898 durchgeführten Änderungen der Raumsituation, nämlich Öffnung von Arkaden, zusammenhing. Tatsächlich baute sich nach dem provisorischen Verschluß der Arkaden ein Raumklima auf, das mit ca. 70% RLF offensichtlich über der Gleichgewichtsfeuchte der vorhandenen Salzmischungen liegt. Zusätzliche Heizung erwies sich als schädlich, die Bildung von Mikroorganismen (Aktinomyceten) wurde massiv angeregt. Allerdings ist die hohe Luftfeuchtigkeit auch ohne Heizung eine für den Befall mit Mikroorganismen günstige Bedingung.¹⁰³

SALZVERMINDERUNG

Für die Wahl der Methode der Salzverminderung wesentlich ist die Unterscheidung zwischen leicht löslichen Salzen (wie Kaliumsulfat oder Natriumnitrat), kaum löslichen Salzen (wie Gips oder Magnesiumcarbonat) und in Wasser fast unlöslichen Salzen (wie Calciumcarbonat oder Bariumsulfat)¹⁰⁴ Die im Bereich der Oberfläche vorhandenen leicht löslichen Salze werden soweit entfernt, daß ihre Konzentration keine schädlichen Wirkungen hervorruft¹⁰⁵ und optisch nicht mehr störend ist. Viele Methoden der Salzbehandlung sind mehr oder weniger identisch mit den üblichen Reinigungsmethoden. Bei Wandmalerei, deren Sein oder Nichtsein von der Existenz der oft nur wenige μ dicken Malschicht abhängt, ist ihre differenzierte Anwendung und die auch in der Steinkonservierung getroffene Unterscheidung zwischen "gröberen", allgemein für die Architekturoberfläche geltenden Methoden und "feineren", die nur in der Konservierung von Wandmalerei eine Rolle spielen, notwendig. Viele der Methoden sind bisher wenig in der Praxis angewandt worden, manche sind bisher nur theoretisch interessant, einige, wie die Kompressenmethode, sind empirisch seit Jahrzehnten erprobt, aber erst in den letzten 10 Jahren üblicher Standard geworden.

- mechanische Entfernung
- Austrocknung (und mechanische Entfernung)
- wässrige Lösung und Abtransport
- chemische Umwandlung und Abtransport (nicht allein mit Wasser)
- chemische Umwandlung und Immobilisierung
- elektrochemische Verfahren zur Entfernung

¹⁰¹ Arnold & Zehnder 1991, 132: Müstair, Stiftskirche, Karolingische und roman. Wandmalereien: Verringerung der Heizung im Winter. Natürlich tragen auch bauliche Reparaturmaßnahmen zur Klimatisierung bei.

¹⁰² Fixierung der romanischen Wandmalereien von Lambach/OÖ, siehe Hammer 1991. Die Klimatisierung (Heizung auf ca. 18° C, Befeuchtung auf etwa 75-80% RLF) strebte ein feuchtes Sommerklima an, um die Salzmischung in Lösung zu halten. Ihre Notwendigkeit zeigte sich drastisch, als ein Unbefugter die Türe offen stehen ließ: Es bildeten sich wieder, zum Glück geringere, Pulverisierungen.

¹⁰³ Hammer & Lux 1990; Petersen & Hammer 1993.

¹⁰⁴ siehe Matteini 1991, 140. Matteini beschreibt die Löslichkeit im Verhältnis zum Gips (Löslichkeitsfaktor 1): K_2SO_4 ist demnach 41mal löslicher, $NaNO_3$ 483 mal löslicher als Gips, $CaCO_3$ $6,4 \times 10^{-3}$ mal weniger löslich als Gips.

¹⁰⁵ siehe oben das Kapitel "Schadenswirkungen".

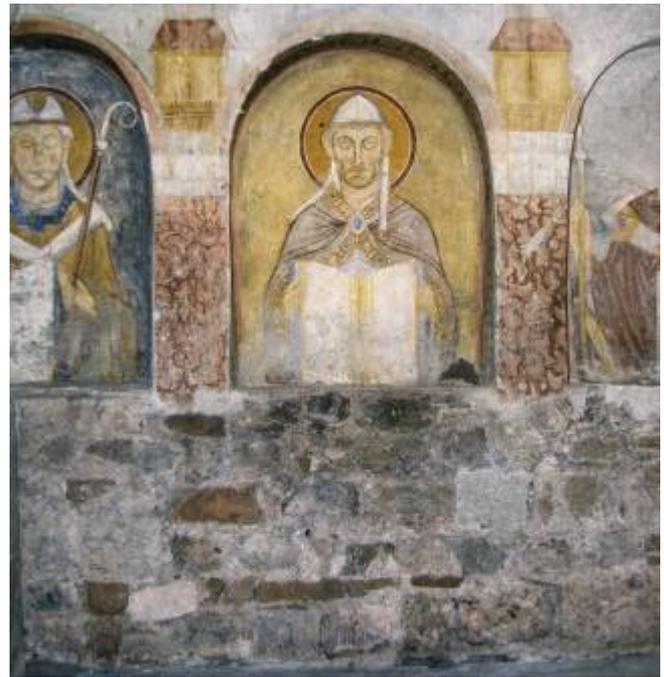
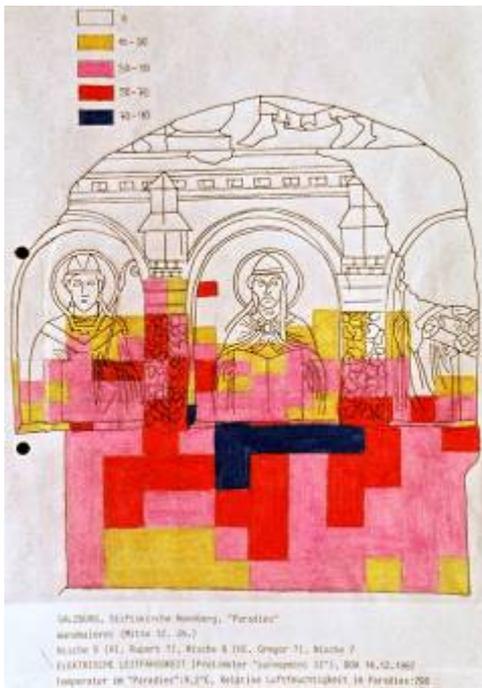


Abb. 5 und 6: Salzburg, Nonnberg, Stiftskirche, ehem. Paradies, Wandmalerei Mi. 12. Jh., Detail; links: Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Oberfläche visualisiert in diesem Fall starken Befall des Verputzes von 1955 im Sockelbereich mit hygroskopischen Salzen; rechts: Der kontaminierte Sockelverputz wurde entfernt. Foto Hammer 1991

Mechanische Methoden:

Jedes Einbringen von Wasser in eine Wandmalerei kann unliebsame Überraschungen bringen. Deshalb ist die Versuchung groß, die löslichen Salze nur insoweit zu entfernen, als sie unter den klimatischen Bedingungen während der Bearbeitung ausgeblüht sind. Unter voraussehenden Klimaänderungen würden dann die unter der Oberfläche liegenden löslichen Salze wieder zu Tage kommen. Andererseits ist es wünschenswert, daß alle ausgeblühten Salze vor Anwendung etwa von Salzverminderungskompressen möglichst weitgehend mechanisch entfernt werden, um sie nicht unnötig in die Wand hineinzuwaschen. Allerdings muß die Reinigungsmethode sehr präzise kontrolliert werden, um Schäden zu vermeiden. Wenn der Oberflächenzustand der Wandmalerei es zulässt, können die ausgeblühten Salze mit dem feinen Pinsel, durch Absaugen, vielleicht auch durch Abradieren (Gummi, Glasfaser, Mikrosandstrahl) entfernt werden. Wichtig ist, daß die mechanisch entfernten löslichen Salze sofort vom Boden weggerräumt werden, um zu verhindern, daß die (durch Feuchtigkeit oder durch Hygroskopie gelösten Salze) wieder in der Mauer verschwinden.

Die älteste und durchaus effiziente Methode der mechanischen Salzverminderung ist das Abschlagen von Verputz¹⁰⁶ (auch wenn dies meist nicht bewußt mit diesem Ziel getan wird, sondern eher aus Tradition und Erneuerungsbedürfnis). Ebenso effektiv ist die Entfernung versalzter Steine, Ziegel und Verputzausbesserungen bzw. Kittungen in der Wandmalereikonservierung.

¹⁰⁶ siehe unten: Kompressenverputz.



Abb. 7: Dürnstein / Niederösterreich, ehem. Stiftskirche, Krypta, Wandmalerei 1718 von W. E. Priefer v. Miesbach. Mechanische Entfernung von "Salzausblühungen" mit Glasfaserstift und Silikonradiergummi. Foto Hammer 1986

Für die Beseitigung oder Dünnung von Krusten unlöslicher Salze sind mechanische Methoden naheliegend, weil chemische Methoden auch die Gefahr der Beschädigung des Bindemittels Kalk in sich bergen und schädliche Salze eingebracht werden können.

Für Wandmalerei stehen außer dem klassischen Skalpell heute eine wachsende Auswahl von leicht handhabbaren und erschwinglichen Kleingeräten (nicht nur aus den Labors von Zahntechnikern) zur Verfügung, die meist mit Luftdruck oder elektrisch betrieben werden und durch ihre hohe Drehzahl weniger schädliche Schwingungen erzeugen:

- rotierende Schleifgeräte mit verschiedensten Köpfen und Arasionsmaterialien: Korund, Stahl, Diamant, Glasfaser¹⁰⁷, rotierender Gummi etc
- Mikromeißel
- Ultraschallmeißel
- (Mikro)sandstrahl

Für die meist relativ weichen und offenporigen historischen Verputze können die bei der Steinreinigung eingesetzten mechanischen Abrasiv-Verfahren¹⁰⁸ selten angewandt werden.



Abb. 8 und 9: Forchtenstein / Burgenland, Burg, innerer Hof, Ostwand, Fassadenmalerei 1687. Versinterte und vergipste Übertünchungen, Oxalatfilm. Mechanische Entfernung mit Mikromeißel und rotierender Glasfaser. Foto Hammer 1993

¹⁰⁷ die Einsätze der Glasfaserstifte werden mit Zigarettenpapier (eventuell doppelt) umhüllt und als Schleifköpfe in Kleinbohrmaschinen gespannt (Idee Claudia Podgorschek). Durch die Länge der freistehenden Glasfaser kann die Intensität der mechanischen Aktion gut gesteuert werden. Sogar dünne Filme können so entfernt werden und so (manchmal) das an der Wand und im Freien (auch sicherheitstechnisch) sehr umständlich handhabbare Mikrosandstrahlgerät ersetzen. siehe auch: Plenderleith 1956, Lazzarini-Tabasso 1986, Tabasso 1988.

¹⁰⁸ z.B. das in der Steinreinigung häufig eingesetzte JOS-Verfahren, das Druckluft, Strahlmittel und Wasser kombiniert.

Austrocknen

Die natürliche Trocknung ist insofern auch als Salzverminderung anzusehen, als leicht lösliche Salze vorzugsweise an der offenporigen, also für Wasser in flüssiger Form durchlässige Architekturoberfläche ausblühen und durch ihr Gewicht oder mechanische Einflüsse (Wind) abfallen oder (von Schlagregen) abgewaschen werden.¹⁰⁹ Der für den Sinterprozess von Kalkverputzen und -färbungen geprägte Begriff "Selbstheilung"¹¹⁰ kann also durch den Begriff "Selbstentsalzung" ergänzt werden.

Die theoretisch mögliche Beschleunigung der Austrocknung mit entsprechendem Salztransport an die Oberfläche etwa durch Erhitzen mit dem Bügeleisen¹¹¹, durch Heizung von Innenräumen, durch Föhnen mit heißer Luft¹¹², durch Bestrahlung mit Infrarot oder Mikrowellen¹¹³ ist bisher kaum praktisch angewandt worden. Die wesentlichen Gründe dafür liegen auf der Hand: Durch die rasche Verdunstung wird nicht nur eine unkontrollierbar hohe, schädliche Konzentration von Salzen an der Oberfläche erzeugt, eine Wirkung, die eventuell durch eine Kompressen abgefangen werden könnte. Zugleich wird aber auch der Trocknungsprozeß in die Mauertiefe verlagert, mit entsprechenden zusätzlichen Salzschäden unter der Oberfläche.

Die in der Praxis häufig angewendete Methode zur oberflächlichen und schnellen Trocknung mit leichtflüchtigen Lösungsmitteln wie Aceton führt offenbar auch zu beschleunigtem Salztransport. Ein weißlicher Schleier auf der Wandmalerei nach Anwendung von Aceton muß aber nicht (nur) ein Salzsleier sein. Es kann sich auch z. B. um eine "krepierete" Fixierung handeln.

Wenn die physikalischen Eigenschaften des hochporösen Systems, die ja auch positive, verwitterungsresistente Funktion haben, erhalten werden sollen, ist die Hydrophobierung der Oberfläche als Maßnahme zur Salzverminderung abzulehnen.¹¹⁴

Wässrige Lösung der Salze und Abtransport

Salzverminderung mit wässriger Lösung wird - wie die mechanischen Methoden - in der Praxis lange geübt, wenn vielleicht auch nicht mit dem bewußten Ziel der Salzentfernung. Alle entsprechenden Verfahren sind nur bei leicht löslichen Salzen anwendbar. Gips (Calciumsulfat), der zwanzig- bis fünfhundertfach weniger wasserlöslich ist als die leicht löslichen Salze, kann durch diese Methode nicht extrahiert werden. Andererseits ist die Löslichkeit des Gipses doch so groß, daß bei längerer Einwirkung von Wasser schädliche Gipsflecken entstehen können.¹¹⁵ Wenn die Malschicht einer Wandmalerei stark vergipst ist, kann durch eine wässrige Salzverminderung die Malschicht angegriffen werden.¹¹⁶ Bei allen Verfahren sollte die Oberfläche vor Anwendung so gut wie möglich trocken vorgeeignet werden.

- feuchte Reinigung, Spülung:

In der Wandmalereirestauration üblich ist die mechanische Vorreinigung und das anschließende feuchte Abtupfen mit saugenden Schwammbewegungen.¹¹⁷ Auch die Methode der Spülung der Oberfläche ist lange

¹⁰⁹ Bei Oberflächen, die nur "atmungsaktiv", also nur wasserdampfdurchlässig sind, wie alle modernen kunstharzhaltigen Anstrichsysteme und hydrophobierte Oberflächen, aber nicht durchlässig für Wasser in flüssiger Form, kann dieser Prozess nicht stattfinden.

¹¹⁰ siehe Paschinger 1988.

¹¹¹ Plenderleith 1956.

¹¹² Großföhananlagen sollen Anfang November 1994 am Stephansdom erprobt werden: Südwetspresse Ulm, 11.10.1994.

¹¹³ von Claude Bassier bei einer ICOM-Tagung in Andorra (1988) für Steinskulpturen vorgeschlagene Methode, allerdings nur im Versuchsstadium.

¹¹⁴ Die von Pühringer & Weber 1990 vorgeschlagene Methode zur Verwendung von Alkoxysilanen zur Salzverminderung ist wohl aus ähnlichen Gründen problematisch, derzeit auch theoretisch noch nicht genügend untersucht und in der Praxis noch nicht verifiziert. Skibinsky 1985 nennt Hydrophobierung als Immobilisierungsmethode.

¹¹⁵ Grassegger und Grüner 1993, 76, schreiben, daß durch Kompressen ca. 10% des Gipsgehalts ausgelaugt werden kann. Gips ist das einzige praxisrelevante Salz, dessen Löslichkeit durch Erhöhung der Temperatur nicht erhöht wird.

¹¹⁶ vgl. entsprechende Erfahrungen bei den Passionsfresken am Stephansdom, siehe Hammer et al. 1983.

¹¹⁷ Rathgen & Koch 1939, 5 f, empfehlen bei der Steinreinigung dazu die Verwendung von 3 Kübeln mit "reinem Wasser", um den Rücktransport der Salze zu vermeiden. Sie raten ausdrücklich, die mechanische Vorreinigung "an einem trockenen Tage" vorzunehmen.

bekannt: Destilliertes beziehungsweise demineralisiertes Wasser wird (nach Trockenreinigung) in kleinen Mengen über die Oberfläche gegossen und sofort wieder mit dem Schwamm aufgesaugt.

Die von Rathgen schon seit 1905 an beweglichen Steinskulpturen und Metallen angewandte Methode der "Entsalzung" mit dem Wasserbad kommt für in situ befindliche Wandmalerei und Architekturoberfläche nicht in Frage.¹¹⁸

Das übliche Waschen von Fassaden hat zwar auch einen salzvermindernden Effekt, aber auch einige Nachteile: die großen Wassermengen können sekundäre Salzsäden erzeugen, eine Schwächung der Kohäsion (Festigkeit) durch Anlösen des Kalks und auch Schäden im Innenraum wie Salzflecken und sogar Befall von Mikroorganismen.¹¹⁹

Für die Reinigung historischer Verputze, aber auch von Stein und Stuckoberflächen, hat sich bei vorsichtiger Anwendung der Einsatz von Dampf-Druckstrahl bewährt. Auf ca. 150° C. erhitzter Dampf wird mit dem Oberflächenzustand entsprechend reguliertem Druck und Abstand aufgesprüht. Der Dampf kondensiert, reinigt, desinfiziert und vermindert die Salzkonzentration. Im unteren Bereich muß besonders sorgfältig bedampft und für Abfluß des Kondenswasser gesorgt werden, um eine neuerliche Kontamination des Sockels zu verhindern.

- Kompressen¹²⁰

Zur Anwendungsgeschichte:

Die wässrige Lösung und Extraktion von löslichen Salzen wird heute hauptsächlich mit Kompressen verschiedener Art durchgeführt. Lange Zeit wurden Kompressen zur Salzverminderung weitgehend unter empirischen Bedingungen angewendet.¹²¹ Die Vorschläge von Plenderleith (1956, für die Steinkonservierung) und Vunjak (1957, für Mauer und Verputz), die Taubert (1957) zu seinem grundlegenden Beitrag anregten, fanden -soweit das die Literatur widerspiegelt- zunächst keine theoretische Vertiefung. Auch die Technik der Anwendung von Kompressen im Rahmen der seit 1966 in Florenz entwickelten "Barium-Methode"¹²², die auch Salz-extrahierende Effekte hat, wurde offenbar lange nicht aufgegriffen. Hinter den weiterführenden Publikationen von Lehman (1970 ff) und vor allem Jedrzejewska (1971), beide zur Steinkonservierung, stand sicher eine kontinuierliche praktische Tradition. Moraru (1978) schreibt von einer "klassischen Tradition" der Papier- und Kaolin-Kompresse. Angeregt durch Torraca (1976,43) und Mora (et al. 1977¹²³) und auf Grund der Erkenntnis der hygroskopischen, von der Feuchtigkeitsquelle unabhängigen Schadenswirkung der löslichen Salze¹²⁴ begannen die Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamts 1977 mit der Erprobung und Durchführung von Salzverminderung mit Kompressen.¹²⁵ Seit 1981 wurden die mit der florentiner "Barium-Methode" verbundenen technische Feinheiten der Anwendung von Zellstoffkompressen übernommen.¹²⁶

In den letzten 10 Jahren ungefähr spiegelt sich in der Literatur ein steigendes Interesse der naturwissenschaftlichen Forschung an dieser Hauptmethode, allerdings eher auf dem Gebiet der

¹¹⁸ nach Grüner & Grassegger 1993, 76, ist das Wasserbad "die effektivste Entsalzungsmethode". Interessant ist, daß höhere Temperaturen des Wasserbads und ständiges demineralisieren im Ionenaustauscher keine besseren Ergebnisse bringen; Windshheimer 1991; Raschke 1993, 7. Einige gravierende Nachteile: Hineinwaschen von an der Oberfläche konzentrierten Salzen, Gefährdung der Oberfläche durch teilweise Auflösung des Bindemittels Kalk.

¹¹⁹ Das lange Zeit übliche Berieseln und Benebeln von Steinfassaden und -skulpturen führte zwar zur teilweisen Lösung von Gips, aber auch zu Folgeschäden, siehe Manfred Koller 1988.

¹²⁰ siehe vor allem Tinzl 1994; Raschke 1993 und Grassegger & Grüner 1993.

¹²¹ Farmakovsky 1947; Plenderleith 1956; Vunjak 1957.

¹²² Ferroni 1969 ff; zuletzt Matteini 1991.

¹²³ 1983², 297.

¹²⁴ durch Hubert Paschinger 1977 bezüglich der romanischen Wandmalereien in der Stiftskirche Lambach/OÖ, siehe Hammer 1987 a, 1991.

¹²⁵ Wien 1, Stephansplatz, unterirdische Virgilkapelle 13./14. Jh. (1978/79); Volders/Tirol, Schloß Friedberg, Wandmalereien um 1510 (1979/80); Lambach/OÖ, s. o. (1978/80 -1981). Wir arbeiteten zunächst mit selbst aus Buchenholzkarton hergestelltem Zellstoffbrei, bis Hubert Paschinger das ARBOCEL BC 1000, BC 200, BWW 40 von J. Rettenmaier & Söhne, Ellwangen-Holzühle, BRD, fand; siehe Heinz Leitner 1988; siehe auch für die Steinkonservierung: Galli et al. 1979. In Florenz wurde bis ca. 1981 synthetisches Cellulosepulver der Firma MONTEDISON verwendet.

¹²⁶ 1981 demonstrierte Sabino Giovannoni, Opificio dell Petre Dure, Florenz (auf Einladung des BDA, über Vermittlung von Heinz Leitner) an einigen Objekten die Barium-Methode: Wien 1, Virgilkapelle; Wien 1, Stephansdom, Passionsfresken, außen, um 1470; Wien 1, Deutschordenskirche, Sala Terrena, um 1680, Hall/Tirol, Magdalenakapelle, um 1466; siehe Hammer et al. 1981.

Steinkonservierung.¹²⁷ Die Anwendung von Kompressen zur Entsalzung gehört heute zu den Standardmethoden der Praxis der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberfläche.

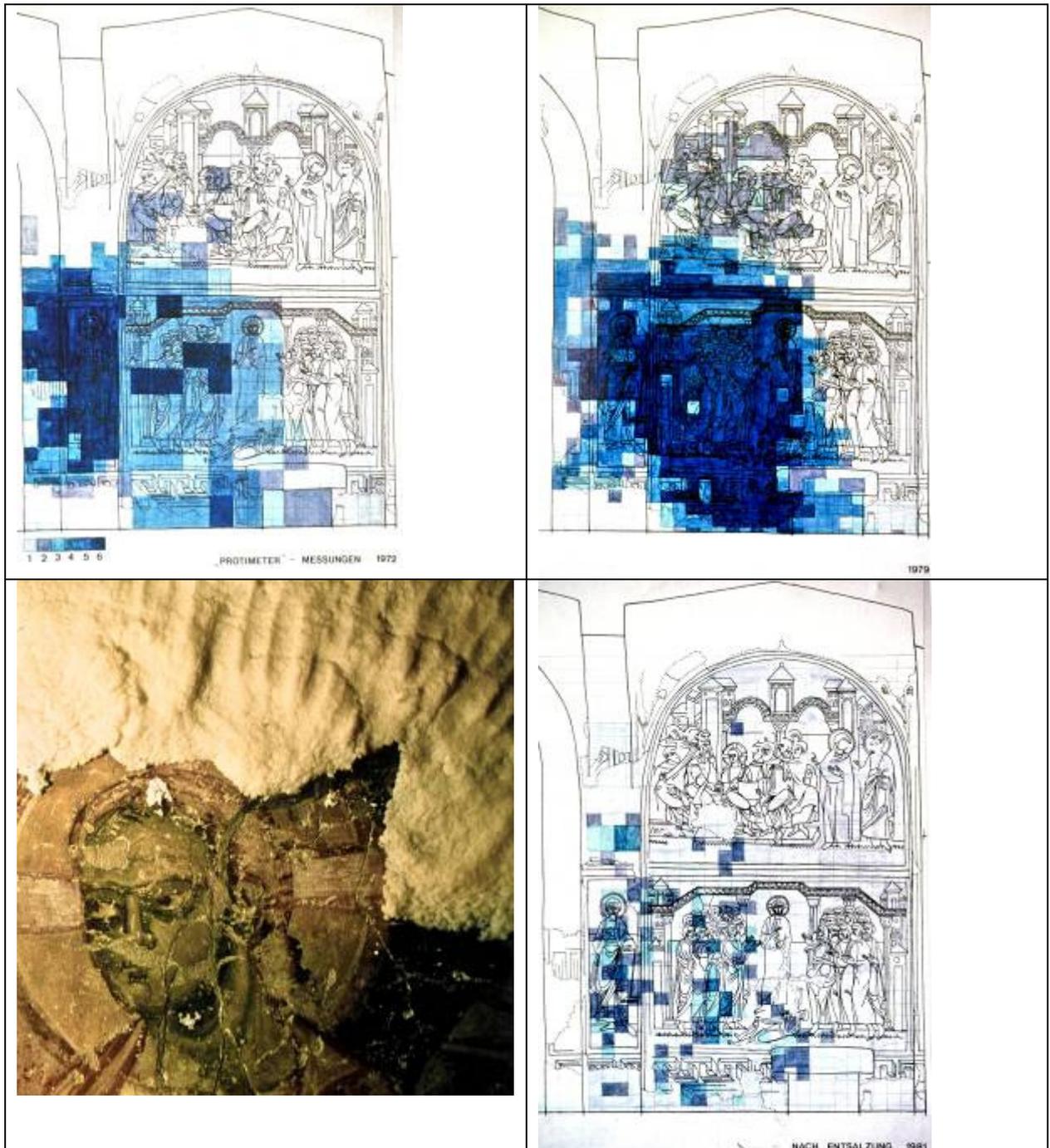


Abb. 10 - 13: Lambach / Oberösterreich, Stiftskirche, ehem. Läuhaus, Wandmalerei um 1080; oben und rechts unten: Periodische Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Oberfläche: (li. oben) 1972 (M. Koller): Infiltration von mit Salzen belastetem Wasser links vom Pfeiler; (re. oben) 1979: Drei Jahre nach Entfernung der Infiltrationsquelle haben sich die Salze durch hygroskopische Feuchtigkeit beträchtlich ausgebreitet und Schäden verursacht; (re. unten) 1981: Nach 4 Salzverminderungskompressen (li. unten, 1980) ist die Salzkonzentration soweit reduziert, daß bei periodischer Pflege keine Schäden mehr auftreten. Foto Hammer 1980

Wirkungsweise der Kompressenmethode:

¹²⁷ siehe u.a. Grassegger & Grüner 1993.

Hydrophiles Material hoher Aufnahmefähigkeit für Wasser wird auf die Oberfläche aufgetragen, eventuell mit einer Schutzschicht aus Japanpapier. Das vom porösen Material absorbierte Wasser löst die Salze und transportiert sie zunächst weiter in das Materialinnere. Zugleich beginnt die Komresse zu trocknen. Solange die Komresse feucht ist, diffundieren die Salzionen zum Konzentrationsausgleich in Richtung Komresse. Dieser "Ionendiffusion" genannte Prozeß geschieht sehr langsam, ist aber sehr tiefenwirksam.¹²⁸



Abb. 14: Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Oberfläche

Wenn der Wassergehalt der Komresse geringer ist als jener des porösen Baumaterials, beginnt der rasche konvektive Transport der Salzlösung in den Kapillaren. Da aber die Salze beim Trocknungsprozeß mit an die Oberfläche transportiert werden, dient die Komresse nun als expanded environment (Skibinsky 1985) als Verdunstungszone, also als Schutzschicht auf der prösen Oberfläche, in der sich nun die Konzentration und gegebenenfalls Kristallisation der Salze ereignet, ohne daß die originale Oberfläche beschädigt wird.¹²⁹ Voraussetzung ist, daß die Komresse bis zur Trocknung den Kapillarkontakt behält, weil sonst ein Teil der Salze auf der Kontaktfläche, also auf der Wandmalerei abgelagert wird und kristallisiert. Gegenüber den Forschungsergebnissen im Bereich der Steinkonservierung ist festzuhalten, daß bei Wandmalerei und Architekturoberfläche meist höhere und zudem inhomogenere Porosität vorliegt als bei Naturstein. Zur Frage des Unterschieds zwischen dauernassen Kompressen und trocknenden Kompressen gibt es in der Forschung zur Steinkonservierung unterschiedliche, teilweise gegensätzliche Auffassungen.¹³⁰ In der Praxis der Konservierung von Architekturoberfläche und Wandmalerei dürften dauernasse Kompressen schon deshalb nicht in Frage kommen, weil viel zu große Baumassen durchfeuchtet würden. Empirisch haben sich im Rahmen des Bundesdenkmalamts dünnere Kompressen, die rasch trocknen, als besonders effektiv erwiesen.¹³¹

Ettl & Schuh 1992 berichten über Versuche mit trocknenden Kompressen aus einem Gemisch von Zellulose und Bentonit¹³², z.T. auch Sand. Entscheidend war die Kontaktzeit der Komresse, nicht die Dicke. Auch Variationen mit Vornässen oder Abdecken zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Die Kompressen müssen immer um einige Dezimeter über die kontaminierte bzw. vorher mit Komresse belegte Fläche hinausgehen, weil sonst Randeefekte entstehen würden.¹³³

Jedes Kompressenmaterial neigt bei der Trocknung mehr oder weniger zum Schwinden. Wichtig ist, daß dabei der Kapillarkontakt mit der Wandoberfläche möglichst lange erhalten bleibt. Dies kann durch eine Zwischenlage mit dünnem Japanpapier, durch die Auswahl bzw. Mischung der richtigen Faserlänge beim Zellstoff, durch die Dicke des Auftrags und durch andere Füllstoffe (z.B. Sand, Bentonit) verhindert werden).

¹²⁸ Grüner & Grassegger 1993, 76 f: bei dauernassen Zellulose-Kompressen wurde für NaCl und CaCl₂ für eine 4 cm tiefe Entsalzungszone von Sandstein eine theoretische Ionen-Wanderungszeit von 5 Tagen berechnet.

¹²⁹ ich danke Helmut Richard, Chem. Labor des BDA, für aufschlussreiche Diskussionen.

¹³⁰ Windsheimer et al.(1991) stellten fest, daß die Effektivität einer Komresse durch schnelle Trocknung erhöht wird. Grassegger & Grüner (1993,84) fanden in der dauernassen Komresse bei Stein eine höhere Effektivität.

¹³¹ Friese 1984 fand, daß höhere Temperatur die Effektivität der Salzverminderung verbessert. Winsheimer et al. (1991,13) beobachteten bei dauernassen Kompressen und niederer Temperatur eine Rückwanderung der Salze durch Diffusion.

¹³² Tongemisch mit hohem Montmorillonitgehalt, der (nach Ettl & Schuh 1992) "ein hohes Ionenaustausch- und adsorbives Ionenbindungsvermögen besitzt. (Calcigel, Fa. Südchemie, München)".

¹³³ siehe Hammer 1987 a und b, 1991 (Lambach); Tinzl 1994.

Zur Stabilisierung der Komprese, auch an Fassaden, und Erhaltung des Kapillarkontakts (in halbrunden Nischen, auf plastischen Steinteilen) wurden in den Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamts seit 1986 an mehreren Objekten Zellstoffkompressen mit Kalkmörtel beschichtet.¹³⁴



Abb. 15: Dürnstein / Niederösterreich, ehem. Stiftskirche, Krypta, Verputz, Kalksandstein, Stuck, Wandmalerei 17./18. Jh., Salzverminderung mit verschiedenem Kompressenaufbau: auf Wandmalerei, Stein und Stuck Japanpapier und Zellstoff, teilweise stabilisiert mit Kalkmörtel; auf Verputz Polyamidvlies und Kalkmörtel. Die hygroskopischen Flecken und "Verfressungen" des Kompressenverputzes zeigen die Wirkung der Methode. Foto Hammer 1987

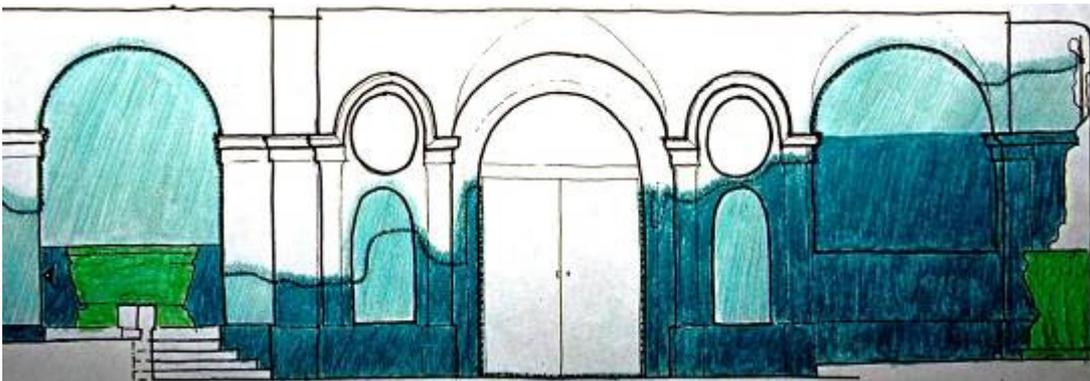


Abb. 16: Dürnstein / Niederösterreich, ehem. Stiftskirche, Krypta, Verputz, Kalksandstein, Stuck, Wandmalerei 17./18. Jh., Obergrenze der elektrischen Leitfähigkeit der Oberfläche, Salzverminderung mit verschiedenem Kompressenaufbau: auf Wandmalerei, Stein und Stuck Japanpapier und Zellstoff, teilweise stabilisiert mit Kalkmörtel; auf Verputz Polyamidvlies und Kalkmörtel. BDA/ Zeichnung Berzobohaty 1987

¹³⁴ in Dürnstein/NÖ, Krypta, Wandmalerei und Stein 17./18.Jh., 1986, siehe Hammer et al. 1986; Parz/OÖ, Schloß, Südfassade, Wandmalerei um 1580, geglückter Versuch einer gesprühten Schutzkomprese an der Fassade (gemeinsam mit Herbert Schwaha, dem an dieser Stelle für seinen Beitrag gedankt sei); Forchtenstein/Burgenland, Burg, Sockel-"Entsalzung" und Schutzkomprese, die schon zwei Winter überdauert hat. Die Alkalität des Kalks wirkt offenbar biostatistisch, siehe Hammer 1993. Möglicherweise wird durch diese Methode auch die Sulfat-blockierende Wirkung der reinen Mörtelkomprese eingeschränkt.



Abb. 17: Dürnstein / Niederösterreich, ehem. Stiftskirche, Krypta, Kalksandstein 17. Jh.; Aufbau der Komresse zur Salzverminderung: Zellstoff, der mit Kalkmörtel stabilisiert ist. Foto Bundesdenkmalamt 1987

Wenn möglich, sollten mehrere Kompressenzyklen durchgeführt werden, vor allem, wenn es sich um dichte Oberflächen und Bruchsteinmauern handelt.¹³⁵ Weil der Kapillarkontakt auch bei der besten Komresse gegen Schluß der Trocknung abbrechen kann, und weil eine Komresse auch als Trocknungsblockade wirkt, kann sie während der Zyklen ruhig noch etwas feucht abgenommen werden. Nur die letzte Komresse sollte jedenfalls trocken entfernt werden, um Kristallisationschäden und vor allem auch Gipsausblühungen zu vermeiden.

In der Regel kann bei schnell trocknenden Kompressen auf den Zusatz eines Desinfektionsmittels, das zusätzliche Salze einbringt, verzichtet werden.¹³⁶ Statt der händischen Applikationsweise ist auch das Aufsprühen der Zellstoffkompressen möglich (Leitner 1988). Nachteil der Sprühmethode ist, daß auf die Zwischenlage mit Japanpapier verzichtet werden muss.

Materialien:¹³⁷

Gebleichter Buchenzellstoff in Pulverform verschiedener Faserlänge ist heute das gebräuchlichste Kompressenmaterial in der Wandmalereikonservierung.¹³⁸ In der Literatur zur Steinkonservierung spielen auch natürliche Mineralien wie Bentonit, Sepiolith, Attapulgit, Kaolin, Pfeifenton und Kieselgur als Kompressenmaterial bzw. als Füllstoff eine Rolle. Als Füllstoff und Verdickungsmittel (Thixotropierung) eignet sich Aerosil, ein mikronisiertes Silikat, oder Reisschalenasche. Nicht selten wird auch Carboxymethylzellulose (CMC) oder Hydroxipropylcellulose (HPC, KLUCEL) der Zellstoffkomresse zur Stabilisierung oder als Trocknungssperre zugesetzt oder aufgestrichen. Durch die Füllstoffe kann, wie erwähnt, die Schrumpfung der Komresse beim Trocknungsvorgang eingeschränkt werden.¹³⁹ Als Kontaktvermittlung und gleichzeitig als

¹³⁵ wie erwähnt, ist eine "Entsalzung" nicht möglich. Es geht um die Senkung der Konzentration der Salze auf ein empirisch feststellbares unschädliches Niveau.

¹³⁶ siehe Fricke 1993. In Lambach, Volders, Wien (Virgilkapelle) und in Salzburg/Nonnberg wurde THYMOL in Aceton/Äthanol verwendet; zu den Gefahren siehe Petersen & Hammer 1993.

¹³⁷ siehe Raschke 1993, 11-17.

¹³⁸ ARBOCEL BC 1000, BC 200 werden am häufigsten verwendet. ARBOCEL Bww40 ist so fein, daß es bei offenen Oberflächen schwer zu entfernen ist. Das Material wurde von Hubert Paschinger, BDA Wien gefunden.

¹³⁹ z.B. Ettl & Schuh 1992: 1 RT Bentonit, 1 RT Zellulose ARBOCEL BC 1000, 6 RT Sand 0-2 mm); Lanterna et al. 1992, 120: ARBOCEL (BC 1000 ?)/Sepiolith 1/2.

Schutz der Wandoberfläche hat sich entsprechend der florentiner Anwendungsmethode feines Reispapier bewährt.¹⁴⁰



Abb. 18: Dürnstein / Niederösterreich, ehem. Stift, Kreuzgang, Stuckdecke 18. Jh., Schäden durch Wassereinbruch. Salzverminderung mit Kalkmörtel, die Leimfarbe auf dem Kalkstuck dient als Trennschicht. Foto Hammer 1987

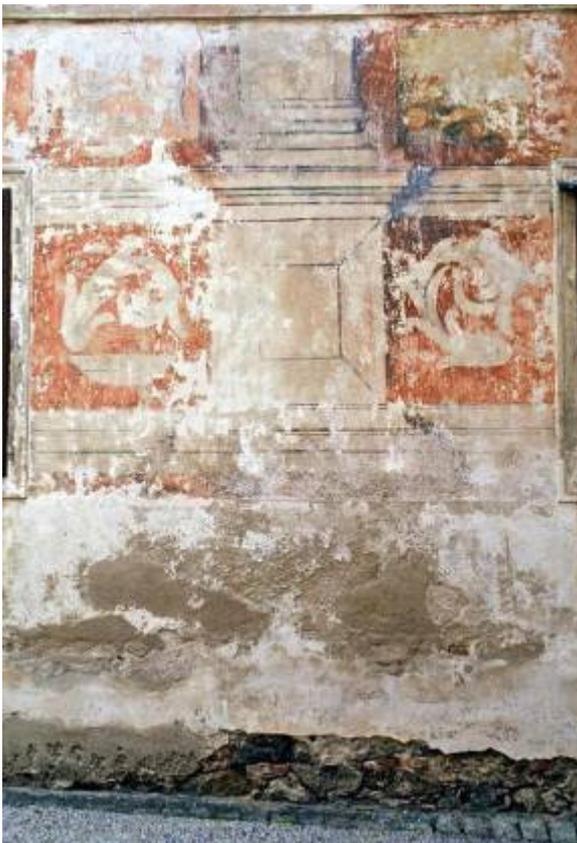


Abb. 19: Forchtenstein / Burgenland, Burg, innerer Hof, Fassadenmalerei 1687, Südfassade, Detail. Schäden auf der originalen Verputzoberfläche im Sockelbereich, teilweise Zementplomben. Foto Hammer 1991

¹⁴⁰ Kuranai natur, gegebenenfalls mehrlagig; in Österreich bei Fa. Japico, Staudgasse 83. 1180 Wien: Langfaserpapier 51x76, naßfest, weiß 17, Best.Nr. 616440, Langfaserpapier 51x76, naßfest, weiß, Best.Nr. 616640.



Abb. 20: Forchtenstein / Burgenland, Burg, innerer Hof, Fassadenmalerei 1687, Südfassade, Detail. Mit Mörtel stabilisierte Zellstoffkompreße im gesamten Sockelbereich, von Baufirma (Mild) appliziert. Foto Hammer 1992

Kompressenverputz:

Für die Salzverminderung bei Architekturoberfläche hat sich in der Österreichischen Denkmalpflege seit 1984 einfacher Kalkputz als Kompreße zur Salzverminderung bewährt¹⁴¹



Abb. 21: Grades / Kärnten, Filiationkirche 15. Jh., Südfassade, Detail, Flecken von hygroskopischen Salzen an der fertig restaurierten Fassade nach Wassereintritt während Dacherneuerung. Mörtelkompreße zur Salzverminderung (während Herstellung). Foto Hammer 1986

¹⁴¹ Erste Versuche des Autos 1981 im Eingangsbereich der Deutschordenskirche in Wien¹, Singerstraße; zum ersten Mal vom Autor in Eferding/OÖ, Spitalkirche, innen, Sockelentsalzung (bis 6 m Höhe) 1984 eingesetzt. Seitdem an folgenden Objekten: Dürnstein/NÖ, ehem. Stiftskirche, Krypta (hier auch mit einer Zwischenlage aus Polyamidvließ), 1986; ebenda, Kreuzgang, Stuckdecke A. 18. Jh. (Mörtelkompreße auf alter Leimfarbe als Zwischenschicht), 1986; St. Lambrecht/Stmk, Stiftskirche, Türme 13.-17. Jh., Sockel, 1987; Grades/Kä., Filiationkirche, Fassade 15. Jh., Flecken im Verputz nach Wassereintritt während Dachdeckung, 1988; Die Literaturdurchsicht ergab, daß die Mörtelkompreße auch in Neuseeland und in England eingesetzt wird: Heimann 1981; Ashurst 1988; siehe auch Grassegger & Grüner 1991.

Vor allem im Sockelbereich ist dies eine Methode, die von jeder Baufirma vor Aufstellung eines Gerüsts und nach Reinigung der Oberfläche eingesetzt werden kann. Der Kompressenverputz soll noch in der kalten Jahreszeit, wenn die löslichen Salze an der Oberfläche kristallisiert sind, abgeschlagen werden. Auch auf bestehendem Verputz hat sich diese wetterfeste, und zudem noch billige und einfache Methode bewährt. Allerdings muß der Kompressenverputz bald wieder entfernt werden, damit durch den Sinterprozess keine Kapillarverbindung mit dem Originalverputz zustandekommt. Die hohe Alkalität führt bei Vorhandensein von Magnesiumsulfat zu Magnesiumhydroxid und -carbonat und Gips, was zu (oft unerheblichen) weißen Schleiern führen kann.¹⁴²

Chemische Umwandlung von Salzen und Abtransport

Dieses Verfahren kommt in der Praxis im wesentlichen nur für schwer lösliche Salze und Salzkrusten in Frage. Die Verwendung von Säuren, vor allem Salzsäure zur Entfernung von Calciumcarbonat-Krusten hat eine lange unselbige Tradition und äußert sich in massiven Salz-Schäden. Wenn sich einmal technisch die Verwendung einer Säure (z.B. Ameisensäure, Essigsäure) als unumgänglich erweisen sollte, müssen die entstehenden Salze mit Kompressen sorgfältig vermindert werden.¹⁴³

Bei der Reparatur historischer Verputze verwenden die Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamts seit 1981¹⁴⁴ die toxische **Hexafluorkieselsäure**. In Anlehnung an die Technik der Färbelung mit Zweikomponenten-Kaliwasserglasfarben¹⁴⁵ wird zur Vorbereitung einer Kalkfärbelung "Ätzflüssigkeit" aus folgenden Gründen verwendet:

- Wiederherstellung der Offenporigkeit der Oberfläche ("Aufreißen" der Carbonatkruste als Haftgrundlage)
- Desinfektion
- Leichte hydraulische Wirkung des freien Kieselgels mit den folgenden Verputzergänzungen bzw. des Kalkanstrichs
- Konsolidierende Wirkung

Zur Verminderung dabei entstehender löslicher Salze soll nach dem "Ätzen" abgewaschen werden.

Zur Entfernung von Calciumcarbonat-Schleiern haben P.u.L. Mora eine Paste entwickelt ("**papetta Mora**", **AB 57**), die bei sparsamer Anwendung und anschließender Salzverminderungskompressen unschädlich ist.¹⁴⁶

Wirkstoffe sind Ammoniumhydrogencarbonat und Natriumhydrogencarbonat. Wie bei allen Umwandlungsverfahren müssen die Folgen entstehender löslicher Salze bedacht werden.

Zur Erhöhung der Löslichkeit von Gips nennt Plenderleith (1956) im Bereich Steinkonservierung die Anwendung von **Natriumthiosulfat**. Entsprechende Versuche an Wandmalerei erwiesen sich aber als schädlich.¹⁴⁷

¹⁴² nach Hubert Paschinger (Chem. Labor des BDA, Analyse 172/87 und 173/87, Dürnstein/NÖ, Krypta) ist diese Methode also weniger effektiv als eine Zellstoffkompressen, die auch Magnesiumsulfat extrahiert (ca. 150 gr. Salze/m²), davon 2/3 Nitrate, 1/6 Sulfate, 1/6 Chloride (Na,Ka, Mg).

¹⁴³ siehe Hammer 1988 c, 1990.

¹⁴⁴ Judendorf-Straßengel, Maria Straßengel, Verputzfassade Mi. 14. Jh., 1981 f., siehe Hammer 1985.

¹⁴⁵ z.B. Ätzflüssigkeit der Firmen KEIM, MOSER, SILIN.

¹⁴⁶ Mora & Mora Sbordoni 1976. Wirkungsweise: siehe Fritz 1992. Allerdings ist von der Zugabe von EDTA (G. Colalucci, *Tecniche di restauro*, in: *La Capella Sistina. I primi restauri: la scoperta del colore*, Novara 1986, 260-267) für Wandmalerei eher bedenklich.

¹⁴⁷ siehe Hammer et al. 1983. Wegen der vollständigen Vergipsung der Malschicht war eine Kompressenentsalzung nicht möglich, lediglich feuchtes Abtupfen mit dem Schwamm. Lazzarini & Tabasso 1986 (1989², 116 u. 120), erwähnen noch folgende Materialien zur Gips-Entfernung bei Steinoberflächen: Natriumhexametaphosphat, Ammoniumphosphat und den *impacco biologico*: Attapulgit mit 1 l dem. Wasser, 50 gr. Harnstoff, 20 cm³ Glycerin.



Abb. 22: Weissenkirchen / Niederösterreich, Pfarrkirche, Turm 14. Jh., Fassade mit Krusten durch Vergipsung: Ammoniumcarbonat-Kompressen. Foto Hammer 1989

Das von Plenderleith zur Entfernung von Gips genannte **Ammoniumcarbonat**¹⁴⁸ ist durch die florentiner Anwendungstechnik im Rahmen der Barium-Methode heute recht verbreitet. Schon vor der Entwicklung der Bariummethode wurde es als Reinigungsmittel für Wandmalereien eingesetzt.¹⁴⁹ Das etwas alkalische Ammoniumcarbonat (pH 9) hat einen sehr guten Reinigungseffekt, greift aber die organischen Bindemittel von Seccomalereien an. Außerdem werden Kupferpigmente durch Bildung von Metallaminkomplexen aufgelöst. Entsprechende Vorsicht bei der Anwendung ist also geboten. Die Anwendung als übersättigte Lösung führt in einer Gleichgewichtsreaktion nicht nur zur Umwandlung des Gipses in (leicht saures) Ammoniumsulfat, sondern auch zur Rückbildung von Gips in Calciumcarbonat. Die Rekonversion von Kalk wird aber durch zu hohe Konzentration von Nitraten beeinträchtigt. Überschüssiges Ammoniumcarbonat verdampft in Ammoniak und Kohlensäuregas. Die Entfernung des Ammoniumsulfats mit Kompressen ist notwendig. In einem Fall bisher hat sich bewährt, die Ammoniumcarbonat-Kompressen soweit wie möglich trocknen zu lassen und damit in einem Arbeitsgang auch Salze zu extrahieren.¹⁵⁰ Ähnlich wie die erwähnte "papetta Mora" (AB 57) kann das Ammoniumcarbonat auch mit anderen Trägermaterialien wie Tylose für die Reinigung von Wandmalereien angewendet werden.¹⁵¹ Für Wandmalereien wird Ammoniumcarbonat meist in chemisch reiner Form eingesetzt.

¹⁴⁸ siehe unten die Literatur zur Barium-Methode; dazu: Heike Pfund, Reinigung von Wandmalerei mit Ammoniumcarbonatlösungen und Gemischen aus Ammoniumcarbonat, Natriumcarbonat und Komplexbildnern, Fachhochschule Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst und Kulturgut, Semesterarbeit bei Prof. Dr. E. Jägers, WS 1990/91; Fritz 1991.

¹⁴⁹ Franz Walliser berichtet von der 1955 durchgeführten Reinigung der romanischen Wandmalereien in Salzburg Nonnberg "durch vorsichtiges Abwaschen mit lauwarmem Wasser und etwas Salmiakgeist und Ammoniumcarbonat", siehe Walter Frodl (mit Beiträgen von Franz Walliser und Eva Frodl-Kraft), Die romanischen Wandgemälde in der Stiftskirche am Nonnberg in Salzburg. Zustand, Restaurierung und technologische Bemerkungen, in: Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege 1956, 95.

¹⁵⁰ 1992 an den Fassadenmalereien von Burg Forchtenstein (Durchführung: Andrej Losin), siehe Hammer 1993, 118.

¹⁵¹ siehe z.B. Leitner 1988. Methylzellulose ist wegen der Gefahr der Ammoniumchloridbildung nicht zu empfehlen, siehe: Fritz 1992, 24 (Prof. E. Jägers).



Abb. 23: Forchtenstein / Burgenland, Burg, innerer Hof, Fassadenmalerei 1687, Ostfassade. Abnahme der letzten Salzverminderungskompresse nach Behandlung mit Hirschhornsalz und Ammoniumcarbonat. Foto Hammer 1993

Historische Fassadenverputze sind häufig sowohl vergipst wie auch versintert. Durch die hygroskopische Wirkung des Gipses ist die Fassade an diesen Stellen stärker verschmutzt. Durch sekundäre Versinterung und zunehmende Krustenbildung ist der Schmutz mit der Oberfläche unlöslich verbunden. Mittels Kompressen aus Hirschhornsalz, einem aus ca. 2 RT Ammoniumhydrogencarbonat, 1 RT Ammoniumcarbonat und etwas Ammoniumcarbamat bestehenden Mischsalz, kann in einem Arbeitsschritt sowohl der Gips als auch die Calciumcarbonatkruste angelöst, die Fassade damit gereinigt werden. Anschließend ist allerdings eine Salzverminderung durch sorgfältiges Abwaschen oder durch Kompressen notwendig.¹⁵²

Seit ca. 20 Jahren wird die Verwendung von **Ionenaustauschharzen** für die Reinigung von Stein und Verputzoberflächen diskutiert.¹⁵³ Bekanntestes Anwendungsbeispiel der letzten Jahre ist die Reinigung der Fresken der Brancacci-Kapelle in Florenz mit anionischem Ionenaustauschharz, teilweise vermischt mit Ammoniumcarbonat.¹⁵⁴ Als Vorteile gegenüber der Zellstoffkompressen erwiesen sich:

- geringe notwendige Wassermenge (nur ca. 30%)
- geringe Belastung durch saures Ammoniumsulfat
- pH-Wert (basisch) ermöglicht Anquellung von organischen Bindemitteln (Übermalungen)
- präzise Eingrenzung der behandelten Fläche
- selektive Wirkung

Die Kosten des Materials und der notwendigen chemisch-physikalischen Adaption sind allerdings hoch.

¹⁵² Mit dieser Methode von uns durchgeführte Projekte: Weißenkirchen/NÖ, Pfarrkirche, Turmfassade des 14. Jhs. (1989); Weißenkirchen/NÖ, Teisenhoferhof, Hoffassade 1542 (1990); Krems/NÖ, Ursulakapelle, Ostfassade um 1300/15. Jh. (1991); Forchtenstein/Bgld., Burg, Fassadenmalerei 1687 (1992/93), siehe Hammer 1993.

¹⁵³ A. Giovagnoli et al. 1979; Oeter 1991; Raschke 1993, 36 ff.

¹⁵⁴ durchgeführt durch das OPD Florenz, Sabino Giovannoni, siehe: Pizzigoni et al. 1989, 393-401.

Elektrochemische Verfahren

Bezüglich der elektrochemischen Verfahren zur Salzverminderung, die in der Praxis der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberfläche derzeit noch keine Rolle spielen, sei auf die entsprechende Literatur verwiesen.¹⁵⁵

IMMOBILISIERUNG DER SALZE

Die Umwandlung löslicher Salze in (nahezu) unlösliche und damit nicht mehr schädliche Salze ist nur bei Sulfaten und - eingeschränkt - bei Chloriden möglich, nicht bei Nitraten. Prinzipiell besteht die Gefahr, daß mit der chemischen Immobilisierung von Salzen zugleich neue Salze entstehen, die, weil weniger löslich, sogar noch gefährlicher als die ursprünglichen Salze sein können.

Bei historischen Verputzen wird manchmal **Bleihexafluorsilikat** zum Vorätzen und zugleich zur Umwandlung von Sulfaten verwendet.¹⁵⁶ Bei Wandmalereien scheidet diese Methode natürlich jedenfalls aus.

Zur zeitweisen Immobilisierung der störenden hygroskopischen Nitrate bei der Abnahme von Wandmalerei verwendete Dino Dini/ Florenz Tributylphosphat.¹⁵⁷

Bezüglich der alten, 1856 erstmals patentierten Methode der **Steinkonsolidierung mit Barium- oder Strontiumsalzen**¹⁵⁸ wird, da uns bisher keine praktischen Anwendungen an Wandoberflächen bekannt geworden sind, auf die Literatur verwiesen.

Die Behandlung der Vergipsung von Wandmalereien mit der bereits mehrfach erwähnten, in Florenz entwickelten "**Barium-Methode**" soll hier nur kurz erwähnt werden.

Sie wurde in Florenz in engster Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und Restauratoren entwickelt und angewandt. Die Kollegen in Florenz können nach fast dreißig Jahren Erfahrung den langfristigen Erfolg dieser Methode verifizieren.

Die Methode arbeitet mit zwei Teilschritten:

Der erste Schritt entspricht der bereits beschriebenen Reinigung mit Ammoniumcarbonat.

Beim zweiten Schritt, der erst nach Verdampfung des überschüssigen Ammoniumcarbonats (Ammoniakgas und CO₂) erfolgen darf, wird Bariumhydroxid (das in Pulverform sehr toxisch ist)¹⁵⁹ in Form von Kompressen in ca. 5%iger Lösung aufgetragen.¹⁶⁰ Es reagiert mit den leicht löslichen Sulfatanteilen unter Bildung von unlöslichem Bariumsulfat, der Überschuss mit dem CO₂ der Luft unter Bildung von nahezu unlöslichem, konsolidierendem Bariumcarbonat. Zugleich reagiert das Bariumhydroxid mit dem vorhandenen Calciumcarbonat und bewirkt einen sekundären Konsolidierungsprozeß. Durch die präzise Anwendungstechnik wird die Bildung eines unlöslichen Films aus Bariumcarbonat vermieden.¹⁶¹

In der österreichischen Denkmalpflege wurde in den Jahren 1987 bis 1993 eine der ersten großflächigen Anwendungen dieser Methode an den Wandmalereien der Südfassade von Schloß Parz durchgeführt.¹⁶²

Vorfixierung

Die Vorfixierung einer Wandmalerei ist notwendig, wenn die Oberfläche der mechanischen Belastung einer Kompressen zur Salzverminderung nicht standhalten würde, wenn also die Malschicht Mängel in der Adhäsion

¹⁵⁵ Kostrov 1954; Kostrov & Nogid 1960 u. 1965; Lehman 1970; Jedrzejewska 1971; Moraru 1978; Tenge 1978; Wittmann 1981; Weber 1983; Friese 1984; Weber 1984, Friese & Birkenhofer 1985; Skibinsky 1985 a u. b; Friese 1988, Nägele 1989; Friese 1991.

¹⁵⁶ z.B. DOMOSILIN.

¹⁵⁷ Ferroni & Dini 1968.

¹⁵⁸ Sayre 1971: $\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_5\text{SO}_4)_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{BaSO}_4 \downarrow$; Lewin & Baer 1974: Bariumhydroxid, Harnstoff, Glycol, Wasser; Mora et al. 1976; Twilley 1984.

¹⁵⁹ Bariumhydroxid kann nur von Restauratoren mit entsprechender Lizenz ("Giftschein") bezogen werden, siehe Hammer et al. 1981: siehe auch: Wolfgang Baatz und Rudolfine Seeber, Restaurierung des Sgraffitohauses in Retz, NÖ (1982/83), Restaurierung der Fassadenmalerei Wien1, Singerstraße 1, in: Restauratorenblätter 9 zum Thema Wandmalerei, Sgraffito, Stuck, Österr. Sektion des IIC (ed.), Wien 1987/88, 154.

¹⁶⁰ ca. 150 gr. Bariumhydroxid auf 1 kg Zellstoffbrei.

¹⁶¹ Literatur zur Barium-Methode: Ferroni et al. 1969; zuletzt: Matteini 1991.

¹⁶² erste Proben BDA (Hammer) /Wintersteiger Sept. 1987. Entwicklungsphase in Zusammenarbeit von Sabino Giovannoni und Mauro Matteini (OPD Florenz), Heinz Leitner, Josef Wintersteiger und Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamts 1988/89. Durchführung Atelier Heinz Leitner (1990-93). 1983 Konservierung der Tympanonreliefs Mi. 14. Jh. in Judendorf-Sträßengel, Wallfahrtskirche, mit der Barium-Methode durch das Bundesdenkmalamt.

und der Kohäsion aufweist. Die Fixierungsmethoden dürfen dabei weder am Lösungsprozeß der Salze teilnehmen noch die Kapillarität von Verputz und Malschicht behindern. Filmbildende, nicht hydrophile Materialien scheiden daher aus. Falls auch der Wandmalereiverputz (intonaco) Hohlstellen aufweist, die durch Kristallisation von Salzen entstanden sind, kann eine Salzverminderung erst nach Wiederherstellung der Kapillarverbindung zwischen Mauer und Verputz erfolgreich sein.

Nach dem derzeitigen Stand der Kenntnis kommen dafür nur mineralische Fixiermethoden in Frage.¹⁶³ Einerseits kann aber eine anschließend notwendige Reinigung nur noch mit aufwendigen und durchaus invasiven Methoden (z.B. Mikrosandstrahl) durchgeführt werden. Andererseits werden damit auch künftig notwendige Konservierungsmaßnahmen nicht präjudiziert, sowohl hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit (des hydrophilen Charakters) der Oberfläche wie auch hinsichtlich ihres Verhaltens bei künftigen Verwitterungsprozessen (Filmbildung, Schalenbildung, Resistenz gegen Salzkristallisation). Welche Materialien dafür geeignet sind, ist derzeit durchaus offen. Der in der Praxis erprobte Kieselsäureestertyp ist derzeit nicht mehr im Handel erhältlich.¹⁶⁴

Das Problem, wie die Salze bei wasserempfindlichen Wandmalereien vermindert werden können, ist z.B. im Hinblick auf die romanischen Wandmalereien in Salzburg Nonnberg brennend. Die Frage ob eine Lösung dafür gefunden werden kann, ist offen.

Zusammenfassung:

Wandmalerei und Architekturoberfläche gehören technologisch und ästhetisch zusammen. Konservierung heißt Therapie der Ursachen der Schäden, nicht nur der Symptome. Die zentrale Bedeutung der Salze für die Verwitterung von Wandmalerei und Architekturoberfläche, ihre Herkunft und die Schadensprozesse wurden erst in jüngerer Zeit genauer erkannt.

Die vor jedem konservierenden Eingriff notwendige Untersuchung muss in einer Interpretation der Schadensursachen münden, die nicht nur von den Schadensprozessen ausgeht, sondern auch von der Frage nach den für die Erhaltung günstigen physikalischen Eigenschaften der Wandoberfläche. In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, zwischen "normaler", in jedem historischen Bauwerk notwendig auftretender Feuchtigkeit (thermische und hygroskopische Kondensation) und schädlichem Übermaß an Feuchtigkeit zu unterscheiden. Historische Fassadenverputze sind vor allem deshalb erhalten geblieben, weil Feuchtigkeit in flüssiger Form an ihre Oberfläche gelangt und dort rasch verdunsten kann.

Die Beseitigung der schädlichen Wirkung der Salze erfordert sowohl Baureparatur als auch direkte Salzbehandlung. Bei der üblichen Baureparatur, also Dachdrainage, Trockenlegung, Klimatisierung von Innenräumen, Reparatur von natürlichen Vewitterungsschäden und Schutz vor außergewöhnlichen Belastungen, ist die Verwendung von Verfahren und Materialien, die neue Salze einbringen (z.B. PZ) oder die hydrophilen Eigenschaften der Wandoberfläche einschränken, abzulehnen.

Die Klimatisierung eines Innenraums kann zwar die Kristallisationszyklen unterbrechen, erfordert aber ständige Beobachtung.

Die verschiedenen Methoden der Salzbehandlung, wie zum Beispiel mechanische Entfernung, Austrocknung und mechanische Entfernung, elektrochemische Verfahren, wässrige Lösung und Abtransport mit Kompressen, chemische Umwandlung und Abtransport (mit Kompressen) und die Immobilisierung der Salze haben unterschiedliche praktische Bedeutung, ihre Anwendung hängt von den konkreten Bedingungen wie Materialien, Salzarten, Zustand etc. ab.

Mit dem Ziel der Erhaltung von Wandmalereien in situ wurde im Rahmen der Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamts seit 1977 in praxisorientierter Zusammenarbeit zwischen Chemikern und Restauratoren an der Entwicklung und Durchführung von Methoden der Vorfixierung und der Salzverminderung mit Kompressen gearbeitet. Von Anfang an war dabei auch die Konservierung und Reparatur der Architekturoberfläche insgesamt, vor allem der historischen Verputze, ein Arbeitsschwerpunkt.

¹⁶³ zur Diskussion siehe: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (ed.), Haftungsprobleme und Putzsicherung an gemauerten und hölzernen Putzträgern, Tagungsbericht 2/92, München 1993.

¹⁶⁴ bei der Vorfixierung der romanischen Wandmalereien in Lambach wurde Methylkieselsäureester verwendet, siehe Hammer et al. 1981 u. 1983, Hammer 1984, 1987 a,b, 1988 a,b, 1991; Matteini 1990, 244 ff.

Bibliographie zur Salzproblematik in der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberfläche

Gemeinsam mit Christoph Tinzl

Autor/ Erscheinungsjahr	Titel	Fachrichtung	Abstract
Rathgen 1924	F. Rathgen, Die Konservierung von Altertumsfunden. II. Teil. Metalle und Metallegierungen, organische Stoffe, Berlin 1924	Metalle/ legierungen	Die Konservierung von Altertumsfunden. II. Teil. Metalle und Metallegierungen, organische Stoffe
Rathgen 1926	F. Rathgen, Die Konservierung von Altertumsfunden. I. Teil. Stein und steinartige Stoffe, Berlin 1926	Stein, Steinartige Stoffe	Die Konservierung von Altertumsfunden. I. Teil. Stein und steinartige Stoffe
Schröder 1929	W. Schröder, Über das reziproke Salzpaar $MgSO_4 \cdot Na_2(NO_3)_2 \cdot H_2O$, IV. Z. Anorg. Allg. Chem. 184, 1929, 77-89		Über das reziproke Salzpaar $MgSO_4 \cdot Na_2(NO_3)_2 \cdot H_2O$
Dr. Alois Kieslinger 1932	Dr. Alois Kieslinger, Zerstörungen an Steinbauten. Ihre Ursachen und ihre Abwehr, Franz Deuticke, Leipzig und Wien, 1932	Stein	Zerstörungen an Steinbauten. Ihre Ursachen und ihre Abwehr
Ritchie 1933	J. Ritchie, Cleaning and preserving sculpture casts by a cellulose method, in: The Museum Journal, XXXII (1933), 465-468	Stein (Skulpturen)	Cleaning and preserving sculpture casts by a cellulose method
Rathgen & Koch 1939	F. Rathgen und I. Koch, Merkblatt für Steinschutz. Zusammengefasst auf Veranlassung des Konservators der Kunstdenkmäler im Reichserziehungsministerium, Berlin 1939	Stein	Merkblatt für Steinschutz. Zusammengefasst auf Veranlassung des Konservators der Kunstdenkmäler im Reichserziehungsministerium
Farmakovskiy 1947	M. V. Farmakovskiy, Konservatsiya i restavratsiya museinykh kollektiy, Moskau 1947		Konservatsiya i restavratsiya museinykh kollektiy
Augusti 1948	S. Augusti, Natura e cause delle efflorescenze bianche che si producono sugli affreschi, Napoli 1948	Wand?	Natura e cause delle efflorescenze bianche che si producono sugli affreschi
Kostrov 1954	P. I. Kostrov, Technique of painting and conservation of ancient Pjandzikent murals, in: Zhivopis drevnego Pjandzikenta, Moskau 1954	Wand	Technique of painting and conservation of ancient Pjandzikent murals
Plenderleith 1956	H. J. Plenderleith, The conservation of antiquities and works of art.- Oxford University Press, London 1956, 294-301	Antiquitäten /Kunstgut	The conservation of antiquities and works of art
Vunjak 1957	M. O. Vunjak, Cis ´cenu efflorescenija soli (salitre) sa zidnich slika (The cleaning of efflorescence from mural painting), in: Zbornik zastite spomenika kulture, v.8 (1957), 9 (1958)	Wand	Cis ´cenu efflorescenija soli (salitre) sa zidnich slika (The cleaning of efflorescence from mural painting)
Taubert 1958	J. Taubert, `Restaurierungsprobleme alter Wandmalereien´, Maltechnik/Restauro 64 (1958), 102-104 (1)	Wand	Restaurierungsprobleme alter Wandmalereien
Kostrov & Nogid 1960	P. I. Kostrov und I. L. Nogid, Removal of salts from ancient Pjandzikent paintings by electro dialysis, in: Soobscheniya Gosudarstvennogo Eremitazha, 19 (1960) (Leningrad)	Wand	Removal of salts from ancient Pjandzikent paintings by electro dialysis
Kratz 1963	A. Kratz, Eine neue Methode der Steinrestaurierung.- Museumskunde, 1, pp.32-39, (1963)	Stein	Eine neue Methode der Steinrestaurierung
Kostrov & Nogid 1965	P. I. Kostrov und I. L. Nogid, Removal of salts from Ancient Middle-Asian Paintings by Means of Electro dialysis, in: IIC (ed.), Studies in Conservation, vol 10, nr. 3, 1965, 83-90	Wand	Removal of salts from Ancient Middle-Asian Paintings by Means of Electro dialysis
Lewin 1966	S. Z. Lewin, Method of Preserving Limestone Structure, U.S. Patent Application 529, 213, February 25, 1966	Stein	Method of Preserving Limestone Structure
Kranz 1967	M. Kranz, Badania chemiczne nad odsalaniem kamienia, in: Biblioteka mesealnictwa i ochrony zabytkow, B. 19, 1967, 125-150		Badania chemiczne nad odsalaniem kamienia
Lehmann 1967	J. Lehmann, Przyklady zasolenia i odsalania kamieni w zabytkach, in: Biblioteka muzealnictwa i ochrony zabytkow, B. 19. 1967, 151-161		Przyklady zasolenia i odsalania kamieni w zabytkach
Buczylo 1967	E. Buczylo, Selektywne membrany jonitowe w procesach elektrochemicznych, Warszawa 1967		Selektywne membrany jonitowe w procesach elektrochemicznych
Ferroni & Dini 1968	E. Ferroni, D. Dino, Esperienze sul sequestro di nitrati con tributilfosfato per il distacco e la conservazione degli affreschi.- Societa Italiana per il Progresso delle Scienze, Atti della 49 riunione..., Roma 1968, 919-932	Wand	Esperienze sul sequestro di nitrati con tributilfosfato per il distacco e la conservazione degli affreschi
McCoy & Eshenour 1968	W. L. McCoy und O. L. Eshenour, Significance of total and water-soluble Contents of Portland Cement, J. Materials 3 (1968), 684-694	Wand/ Stein?	Significance of total and water-soluble Contents of Portland Cement
Ferroni et al. 1969 a	Ferroni, Enzo – Malaguzzi Valery, V. - Rovida, G., Utilisation des techniques diffractometriques dans l'etude de la conservation des fresques, in: Octieme colloque sur l'analyse de la matiere (1969), S. 7-14.	Wand	Utilisation des techniques diffractometriques dans l'etude de la conservation des fresques
Ferroni et al. 1969 b	E. Ferroni, V. V. Malaguzzi, G. Rovida, Experimental study by diffraction of heterogeneous systems as a preliminary to the proposal of a technique for the restoration of gypsum polluted murals, in: ICOM Conference, Amsterdam 1969.	Wand	Experimental study by diffraction of heterogeneous systems as a preliminary to the proposal of a technique for the restoration of gypsum polluted murals
Torraca 1969	G. Torraca, Physico chemical deterioration of porous building materials, in: Il mattone di Venezia, 1969	Stein?	Physico chemical deterioration of porous building materials
Evans 1970	I. S. Evans, Salt Crystallisation and Rock Weathering: A Review, in: Revue de geomorphologie dynamique 19 (1970), 153-177	Stein	Salt Crystallisation and Rock Weathering
Ballestrem et al. 1970	A. Ballestrem - P. de Henau, A. Dupas, Traitement des pieres sculptees contaminees par de sels et controle du dessalement, in: Bulletin de l'Institut Royal du Patrimoine Artistique, XII, 1970, 247-268	Stein? (Skulpturen)	Traitement des pieres sculptees contaminees par de sels et controle du dessalement
Winkler & Wilhelm 1970	E. M. Winkler, E. J. Wilhelm, Salt Burst by Hydration Pressures in Architectural Stone in Urban Atmosphere. Geolog Soc. of America, Bull., 81, S. 567-572, 1970	Stein	Salt Burst by Hydration Pressures in Architectural Stone in Urban Atmosphere

Jedrzejska 1971	H. Jedrzejska, Removal of soluble salts from stone, in: Garry Thomson (ed.), 1970 New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects, IIC, 2 nd edition, vol 1, London 1971, 19-34	Stein	Removal of soluble salts from stone
Lehmann 1971	J. Lehmann, Damage by Accumulation of Soluble Salts in Stonework, in: Garry Thomson (ed.), 1970 New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects, IIC, 2nd edition, vol 1, London 1971, 37-45	Stein	Damage by Accumulation of Soluble Salts in Stonework
Plenderleith & Werner 1971	H. J. Plenderleith, A. E. A. Werner, The Conservation of Antiquities and Works of Art: Treatment, Repair and Restoration, London 1971	Antiquitäten /Kunstgut	The Conservation of Antiquities and Works of Art
Riederer 1971	J. Riederer, Stone Preservation in Germany, in: Garry Thomson (ed.), 1970 New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects, IIC, 2nd edition, vol 1, London 1971, 125-133	Stein	Conservation of Stone and Wooden Objects
Sayre 1971	E. V. Sayre, Direct Deposition of Barium Sulfate from Homogeneous Solution within Porous Stone, in: Garry Thomson (ed.), 1970 New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects, IIC, 2nd edition, vol 1, London 1971, 1, 115-117	Stein	Direct Deposition of Barium Sulfate from Homogeneous Solution within Porous Stone
Stambolov 1971	T. Stambolov, Conservation of stone, in: Garry Thomson (ed.), 1970 New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects, IIC, 2nd edition, vol 1, London 1971, 119-123.	Stein	Conservation of stone
Annaert & De Henau 1972	M. Annaert, P. De Henau, Traitement d'une Vierge Brabanconne en pierre polychrome contaminée par les sels, in: Bull. Inst. Roy. Patrimoine Artistique, 13, 1971/72, 139-144	Stein?	Traitement d'une Vierge Brabanconne en pierre polychrome contaminée par les sels
Ferroni 1972	E. Ferroni, Contributi e prospettive della ricerca chimico-fisica nel restauro degli affreschi, in: Atti e Memorie dell'Accademia Petrarca di Arezzo, 1970-72, XL, 170-179	Wand?	Contributi e prospettive della ricerca chimico-fisica nel restauro degli affreschi
Wihr 1972	R. Wihr, Elektrolytische Metallentsalzung.- Arbeitsblätter für Restauratoren, Jahrgang 5, Nr.2, Gruppe 1, 31-48 (1972)	Metall	Elektrolytische Metallentsalzung
Vartic 1972	M. G. Vartic, Concerning a technique of cleaning stone, in: 1er Colloque sur la Détérioration des Pierres en Oeuvre, Centre de la Recherche et d'Études Océanographiques, La Rochelle, 1972, 137-138	Stein	Concerning a technique of cleaning stone, in: 1er Colloque sur la Détérioration des Pierres en Oeuvre
Anonym 1973	Anonym, A pinch of salt.- B.R.E.News (Building Research Establishment), No.23, p.6 (spring, 1973)		A pinch of salt
Sayre 1973	E. V. Sayre, Investigation of Italian frescoes, their materials, deterioration and treatment, in: William Young (ed.), Application of Science in Examination of Works of Art, Boston, Museum of Fine Arts, 1973, 176-181.	Wand	Investigation of Italian frescoes, their materials, deterioration and treatment
Winkler 1973	E. M. Winkler, 'Salt Action on Stone in urban Buildings', in Examination of Works of Art, ed. W.J. Young, Boston 1973, 139-146 (1)	Stein	Salt Action on Stone in urban Buildings
Lewin & Baer 1974	S. Z. Lewin, N. S. Baer, Rationale of the barium hydroxide-urea treatment of decayed stone, in: Studies in Conservation 19, 1974, 24-35.	Stein	Rationale of the barium hydroxide-urea treatment of decayed stone
Mora 1974	P. Mora, Causes of Deterioration of Mural Paintings, Rom (ICCROM) 1974	Wand	Causes of Deterioration of Mural Paintings
Bassier 1975	C. Bassier, Evolution des techniques de sauvetage et de conservation des peintures murales. ICOM Committee for Conservation, Venice 1975.	Wand	Evolution des techniques de sauvetage et de conservation des peintures murales
Winkler 1975	E. M. Winkler, Stone: properties, durability in man's environment.- Springer Verlag, Wien - New York (1975)	Stein	Stone: properties, durability in man's environment
Arnold 1976 a	A. Arnold, Behaviour of some soluble salts in stone deterioration.- 2nd International Symposium on the Deterioration of Building Stones, Athen 1976, 27-36	Stein	Behaviour of some soluble salts in stone deterioration
Arnold 1976 b	A. Arnold, Soluble salts and stone weathering, The Conservation of Stone I, Bologna 1976	Stein	Soluble salts and stone weathering
Ferroni 1976	E. Ferroni, Chimica fisica degli intonaci affrescati, in: Giovanni Urbani (ed.), Problemi di Conservazione, Bologna (1976), 269-282	Wand	Chimica fisica degli intonaci affrescati
Kirkland & Robert	D. G. Kirkland, E. Robert, Origin of Limestone Buttes, Gypsum Plain. Culberson Co., Texas, AM Assoc. Petrol Geol. Bull., 60, 1976, 2005-2018	Stein	Origin of Limestone Buttes, Gypsum Plain
Moncrieff 1976	A. Moncrieff, The treatment of deteriorating stone with silicone resins: interim report, in: Studies in Conservation 21 (1976), S. 179-191.	Stein	The treatment of deteriorating stone with silicone resins
Mora & Mora Sbordoni 1976	P. Mora und L. Mora Sbordoni, Metodo per la rimozione di incrostazioni su pietre calcaree e dipinti murali, in: Giovanni Urbani (ed.), Problemi di Conservazione, Bologna (1976), 339-344	Stein/Wand ?	Metodo per la rimozione di incrostazioni su pietre calcaree e dipinti murali
Pauly 1976	J. P. Pauly, Le role des chlorures dans les maladies alveolaire et desquamante, 2 nd International Symposium on the Deterioration of Building Stones, Athen 1976	Stein	Le role des chlorures dans les maladies alveolaire et desquamante
Solt 1976	G. S. Solt, Electrodialysis, in: Membrane separation processes, Amsterdam - Oxford - New York 1976, 232-238	Stein	Electrodialysis, in: Membrane separation processes
Stambolov-van Asperen de Boer 1976	T. Stambolov, J. R. J. van Asperen de Boer, The deterioration and conservation of porous building materials in monuments. A review of literature, ICCROM, Rom 1976	Stein	The deterioration and conservation of porous building materials in monuments
Torraca 1976	G. Torraca, Dipinti murali ... (2. Interventi sui dipinti) Urbani, G.(ed): Problemi di conservazione, Bologna (1976)	Wand?	Dipinti murali ... (2. Interventi sui dipinti) Urbani
Urbani 1976	G. Urbani (ed.), Problemi di Conservazione, Bologna 1976		Problemi di Conservazione
Ferroni & Dini 1977	E. Ferroni, D. Dini, Prospettive per la conservazione degli affreschi, in: Scritti di Storia dell'Arte..., Electa Ed., 1977, S.17-19.	Wand?	Prospettive per la conservazione degli affreschi
Mora et al. 1977	P. Mora, L. Mora, P. Philippot, La conservation des peintures murales, Bologna 1977 (engl.: The conservation of mural paintings, Butterwoths series in conservation and museology, London etc. 1983)	Wand	La conservation des peintures murales

Matteini & Moles 1978	M. Matteini, A. Moles, Barium aluminates for the consolidation of mural paintings, in: ICOM Committee for conservation, 5th Triennial Meeting Zagreb, 1978, 15/5	Wand	Barium aluminates for the consolidation of mural paintings
Moraru 1978	D. Moraru, Mural Paintings desalting (ICOM Committee for Conservation, Proceedings of the 5th Triennial Meeting), Zagreb 1978, 78/15/6, 1-19	Wand	Mural Paintings desalting (ICOM Committee for Conservation)
Tenge 1978	H. W. Tenge, Elektrokinese gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit, Bautenschutz und Bausanierung, 1. Jahrgang, Nr.2, 62-64 (1978)	Stein	Elektrokinese gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit
Weber 1978	H. Weber, Bauschädliche Salze, in: Bautenschutz & Bausanierung, 1. Jg., Nr.2, 40-46 (1978)	Stein	Bauschädliche Salze
Skibinski 1978	S. Skibinski, Instrumentalna analiza soli rozpuszczalnych w wodzie pochodzacych z abytkowych obiektów kamiennych, Prace badawcze, Ośrodek Informacji PP PKZ, Warszawa 1978, 12-14	Stein	Instrumentalna analiza soli rozpuszczalnych w wodzie pochodzacych z abytkowych obiektów kamiennych
Arnold 1979	A. Arnold, Bedeutung der leichtlöslichen Salze in der Verwitterung und Konservierung von Bausteinen, Restauratorenblätter 3, 1979, 176-190	Stein	Bedeutung der leichtlöslichen Salze in der Verwitterung und Konservierung von Bausteinen
Biscontin et al. 1979	G. Biscontin, V. Fassina, L. Lazzarini, R. Mazzon, (1979): Studio dell'umidità ascendente, delle caratteristiche fisiche delle murature di Palazzo Badoer e prove de desalinificazione.- Proceedings of the Symposium, Cini Foundation, Oct.22-23, 1979, Laboratorio per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del C.N.R., Venezia, 305-321	Wand/ Mauerwerk	Studio dell'umidità ascendente, delle caratteristiche fisiche delle murature di Palazzo Badoer e prove de desalinificazione.- Proceedings of the Symposium
Crevecoeur 1979	R. Crevecoeur, The desalination of a marble carved seat in the Royal Palace Amsterdam, in: Deterioramento e conservazione della pietra, Venezia 1979, 474-477	Stein (Marmor)	The desalination of a marble carved seat in the Royal Palace Amsterdam
Galli et al. 1979	G. Galli et al., `Intervento di Desalinazione del Dossale di G. Rigino di Verona` (3 ^o Congresso Internazionale sul Deterioramento e la Conservazione della Pietra), Venice 24-27. Oct. 1979, Venice 1979, 491-498 (1)		Intervento di Desalinazione del Dossale di G. Rigino di Verona
Giovagnoli et al. 1979	A. Giovagnoli, C. Meucci, M. Tabasso Laurenzi, Ion-Exchange resins employed in the cleaning of stones and plasters: research of optimal employment conditions and control of their effects, in: 3 ^o Congresso Internazionale sul Deterioramento e la Conservazione della Pietra, Venice 24-27. Oct. 1979, Venice 1979, 499 ff.	Stein, Mörtel	Ion-Exchange resins employed in the cleaning of stones and plasters
Matteini 1979	M. Matteini, Il metodo del bario nel restauro degli affreschi, in: Critica d'Arte, fascicolo 166-168, 1979, S. 182-184.	Wand?	Il metodo del bario nel restauro degli affreschi
Blanchard & Woodcock 1980	D. C. Blanchard, A. H. Woodcock, The production, concentration and vertical distribution of the sea-salt aerosol, Ann. N. Y. Acad. Sci. 338, 1980, 330-347		The production, concentration and vertical distribution of the sea-salt aerosol
Sehmel 1980	G. A. Sehmel, Particle and Gas Dry Deposition: A Review, Atmos. Environ. 14, 1980,983-1011		Particle and Gas Dry Deposition
Arnold 1981	A. Arnold, Salzminerale in Bauwerken, Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 61, Zurich 1981, 147-166	Stein/Wand ?	Salzminerale in Bauwerken, Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
Arnold 1981	A. Arnold, Nature and reactions of saline minerals in walls, in: The Conservation of Stone II, Reprints of the Contributions to the International Symposium, Bologna 1981, 15	Stein/Wand	Nature and reactions of saline minerals in walls
Ferroni & Dini 1981	E. Ferroni, D. Dini, Chemical structural conservation of sulfatized marbles, in: the Conservation of Stone II, Bologna, 1981, 559-566.	Stein (Marmor)	Chemical structural conservation of sulfatized marbles
Hammer et al. 1981	I. Hammer, M. Koller, H. Paschinger, `Wandmalerei – Entsalzungsmethoden`, Restauratorenblätter 5, 1981, 183-185	Wand	Wandmalerei – Entsalzungsmethoden
Heimann 1981	J. L. Heimann, The treatment of salt -contaminated masonry with a sacrificial render, Technical record 471, Chatswood 1981, 1-18	Stein (Mauerwerk)	The treatment of salt -contaminated masonry with a sacrificial render
Lazzarini 1981	Lazzarini, La pulitura dei materiali lapidei da costruzione e scultura: metodi industriali e di restauro, Padova 1981	Stein	La pulitura dei materiali lapidei da costruzione e scultura
Petitt et al. 1981	J. Petitt, V. Henri, R. Coignard, Extraction de sels solubles presents dans les pierres. Une application insolite des microondes, in: The Conservation of Stone, Bologna 1998, 535-544	Stein	Extraction de sels solubles presents dans les pierres. Une application insolite des microondes
Stambolov-van Asperen de Boer 1981	T. Stambolov, J .R. J. van Asperen de Boer, The deterioration and conservation of porous building materials in monuments. A review of literature, supplement 1981, ICOM, 6th Triennial Meeting, Ottawa 1981, 81/10/1	Stein	The deterioration and conservation of porous building materials in monuments
Wittmann 1981	F. H. Wittmann, Kann das Prinzip der Elektrosmose zur Trockenlegung von Mauerwerk angewandt werden?, in: Bautenschutz & Bausanierung, 4. Jg., Nr.4, (1981), 126-132	Stein (Mauerwerk)	Kann das Prinzip der Elektrosmose zur Trockenlegung von Mauerwerk angewandt werden?
Arnold 1982	A. Arnold, Rising Damp and Saline Minerals, 4th International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone Objects, Louisville 7-9 July, 1982. Louisville 1982, 11-28	Stein	Rising Damp and Saline Minerals
Ciabach & Skibinski 1982	J. Ciabach, S. Skibinski, Analiza soli rozpuszczalnych w wodzie wystepujacych w kamiennych obiektach zabytkowych, Ośrodek Informacji PKZ, Warszawa In1982	Stein	Analiza soli rozpuszczalnych w wodzie wystepujacych w kamiennych obiektach zabytkowych
Ferroni 1982	E. Ferroni, Restauro chimico strutturale di affreschi solfatati, in: Metodo e Scienza, Sansoni Ed., 1982, 265-269.	Wand	Restauro chimico strutturale di affreschi solfatati
Fitzner & Sneathlge 1982 a	B. Fitzner, R. Sneathlge, Zum Einfluss der Porenradienverteilung auf das Verwitterungs-verhalten ausgewählter Sandsteine.- Bautenschutz und Bausanierung, 5. Jg., Nr.3, 97-102, (1982)	Stein (Sandsteine)	Zum Einfluss der Porenradienverteilung auf das Verwitterungsverhalten ausgewählter Sandsteine

Fitzner & Sneathlage 1982 b	B. Fitzner, R. Sneathlage, 'Über Zusammenhänge zwischen Salzkristallisation und Porenradien-verteilung', GP News Letters 3/1982, 13-24 (2)	Stein, Wand	Über Zusammenhänge zwischen Salzkristallisation und Porenradien-verteilung
Hicks 1982	B. Hicks, Wet and dry surface deposition of air pollutants and their modelling, in: Conservation of historic stone buildings and monuments, National Academic Press, Washington D. C. 1982, 183-196	Stein	Wet and dry surface deposition of air pollutants and their modelling
Arendt 1983	C. Arendt, Trockenlegung. Leitfaden zur Sanierung feuchter Bauwerke, Stuttgart 1983	Stein	Trockenlegung. Leitfaden zur Sanierung feuchter Bauwerke
Weber et al. 1983	H. Weber et al., Fassadenschutz und Bausanierung. Der Leitfaden für die Sanierung, Konservierung und Restaurierung von Gebäuden, Grafenau/Württemberg 1983 ²	Stein, Wand	Fassadenschutz und Bausanierung. Der Leitfaden für die Sanierung, Konservierung und Restaurierung von Gebäuden
Amoroso & Fassina 1983	G. G. Amoroso und V. Fassina, Stone Decay and Conservation, Amsterdam 1983	Stein	Stone Decay and Conservation
Arnold & Zehnder 1983	A. Arnold und K. Zehnder, Verwitterungsschäden durch Ameisensäure, in: Schweizer Ingenieur und Architekt 36 (1983), 841-845	Wand/Stein	Verwitterungsschäden durch Ameisensäure
Buil 1983	M. Buil, Thermodynamic and experimental study of the crystallization pressure of water-soluble salts. - Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Internationales Symposium, Eßlingen, 1983, pp.373-377	Wand/Stein	Thermodynamic and experimental study of the crystallization pressure of water-soluble salts
Fink et al. 1983	D. Fink, F. Jähnel, J. Riederer, Oberflächliche Anreicherung und Ausscheidung von Salzen beim Verdunsten salzhaltiger Lösungsmittel aus porösen Objekten, Beiträge zur Archäometrie, Vol. 8, Berlin 1983, 278-288 (2)	Wand/Stein	Oberflächliche Anreicherung und Ausscheidung von Salzen beim Verdunsten salzhaltiger Lösungsmittel aus porösen Objekten
Hammer et al. 1983	I. Hammer, M. Koller, H. Paschinger, Die Passionsfresken an der ehemaligen Schatzkammer von St. Stephan. Zur Erforschung und Erhaltung, in: der Dom 2/1982 und 1/1983	Wand	Die Passionsfresken an der ehemaligen Schatzkammer von St. Stephan. Zur Erforschung und Erhaltung
Pühringer 1983	J. Pühringer, Salzwanderung und Verwitterung durch Salze, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Internationales Symposium, Esslingen 1983, S. 361-367	Stein	Salzwanderung und Verwitterung durch Salze
Weber 1983	H. Weber, Mauerfeuchtigkeit, Ehningen bei Böblingen ³ 1983	Stein	Mauerfeuchtigkeit
Wittmann 1983	F. H. Wittmann, Cetapotential und Feuchtigkeitstransport durch poröse Werkstoffe, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Internationales Symposium, Esslingen, 1983, pp. 47-50	Stein?	Cetapotential und Feuchtigkeitstransport durch poröse Werkstoffe, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung
Koller 1984	M. Koller, Denkmalpflege mit Opferschichten, in: Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege 1989, 48-52	Putz	Denkmalpflege mit Opferschichten
Arnold & Zehnder 1984	A. Arnold und K. Zehnder, Evaporite und Verwitterung an Bauwerken, in: Eclogae geologicae Helvetiae 77 (1984), 287-300	Stein/Wand	Evaporite und Verwitterung an Bauwerken
Arnold 1984 a	A. Arnold, Auswirkungen moderner alkalischer Baustoffe auf den Zerfall von Wandmalerei, in: Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei. Fortbildungs- und Fachtagung der Schule für Gestaltung, 5/6. Nov. 1984, Bern 1985, 40-51	Wand	Auswirkungen moderner alkalischer Baustoffe auf den Zerfall von Wandmalerei, in: Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei
Arnold 1984 b	A. Arnold, Determination of mineral salts from monuments, in: Studies in Conservation 29 1984, 129-138	Stein	Determination of mineral salts from monuments
Botticelli & Danti & Giovannoni 1984	G. Botticelli, C. Danti, S. Giovannoni, Twenty years of barium application on mural paintings. Methodology of application, in: ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen 1984.	Wand	Barium-Methode
Ferroni & Baglioni 1984	E. Ferroni, P. Baglioni, Experiments on a proposed method for restoration of sulfated fresco(es), in: Paolo L. Parini (ed.), Scientific Methodologies applied to Works of Art. Proceedings of the Symposium, Florence 2.-5. may 1984, 108-109	Wand	Experiments on a proposed method for restoration of sulfated fresco(es)
Friese 1984	P. Friese, Elektrochemische Entsalzung von Mauerwerk, Teil 1, Notwendigkeit und theoretische Grundlagen, in: Bauphysik 3, 1984, 94-97	Stein	Elektrochemische Entsalzung von Mauerwerk
Furian & Houst 1984	V. Furian, Y. Houst, Salzkristallisation und Materialschäden, Teil 1., Zusammengestellt unter Leitung des Labors für Werkstoffe des Bauwesens (LMC) der ETH Lausanne, [in:] Bau, 7/84, S. 483-486	Stein	Salzkristallisation und Materialschäden
Furian & Houst 1984	V. Furian, Y. Houst, Salzkristallisation und Materialschäden, Teil 2., Zusammengestellt unter Leitung des Labors für Werkstoffe des Bauwesens (LMC) der ETH Lausanne, [in:] Bau, 8/84, S. 531-534	Stein	Salzkristallisation und Materialschäden
Hammer 1984	I. Hammer, Zur Restaurierung der Portale von Maria Straßengel. In: Begegnung mit Straßengel. Mitteilungen des Vereins der Freunde von Maria Straßengel, Nr.7, Februar 1984, 2 f	Stein	Restaurierung der Portale von Maria Straßengel.
Mateini & Moles 1984	M. Matteini, A. Moles, Twenty years of application of barium on mural paintings. Fundamentals and discussion of the methodology, in: ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen 1984, 84.15.15-19	Wand	Barium-Methode
Mora 1984	P. Mora, Deterioramento degli intonaci e possibilità di intervento, in: Facciate dipinte. Conservazione e restauro, Genua 1984	Wand	Deterioramento degli intonaci e possibilità di intervento
Nägele 1984	E. Nägele, Elektrische Transporterscheinungen in porösen Baustoffen, in: Bautenschutz und Bausanierung, Jahrgang 7, Nr.2, 74-82 (1984)	Stein, Wand	Elektrische Transporterscheinungen in porösen Baustoffen
Sneathlage 1984	R. Sneathlage, Steinkonservierung 1979 -1983; Bericht für die Stiftung Volkswagenwerk, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 22, München 1984	Stein	Bericht für die Stiftung Volkswagenwerk

Twilley 1984	E. Twilley, The Relationship of Microstructure to Treatment Variables in the Consolidation of Limestone with Barium Compounds, in: American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works - A I C (ed.), Preprints of papers presented at the twelfth annual meeting, Los Angeles, California 15-20 May 1984, 79-85	Stein	Konsolidierung von Kalkstein mit Barium?
Waller 1984	R. Waller, 'The Prevention of Deliquescence, Efflorescence and Hydration in Mineral Specimens' (ICOM Committee for Conservation, Preprints of the 7th Triennial Meeting), Copenhagen 10-14. Sept. 1984, 13.8-10	Stein/Wand	Konservierung von Materialien mineralischer Art
Weber 1984	H. Weber, Mauerfeuchte und deren Beseitigung, in: Bautenschutz und Bausanierung, 7. Jahrgang, Nr. 1, pp. 15-30, (1984)	Stein	Mauerfeuchte und deren Beseitigung.
Zehnder & Arnold 1984	K. Zehnder, A. Arnold, Stone damage due to formate salts, in: Studies in Conservation 29, 1984, 32-34	Stein	Stone damage due to formate salts
Arnold & Kueng 1985	A. Arnold, A. Kueng, Crystallization and habits of salt efflorescences on walls. Part I: methods of investigation and habits, in: Fifth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 25-27 Sept. 1985, G. Felix and V. Furlan (eds), Lausanne 1985, 255-268	Wand	Crystallization and habits of salt efflorescences on walls.
Arnold & Zehnder 1985	A. Arnold, K. Zehnder, Crystallization and habits of salt efflorescences on walls. Part II: Conditions of crystallization, in: Fifth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 25-27 Sept. 1985, G. Felix and V. Furlan (eds), Lausanne 1985, pp. 269-278	Wand	Crystallization and habits of salt efflorescences on walls
Arnold 1985	A. Arnold, Moderne alkalische Baustoffe und die Probleme bei der Konservierung von Denkmälern, in: Natursteinkonservierung, Internationales Kolloquium, München 21./22. Mai 1984 (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München, Arbeitsheft 32), München 1985, 152-162	Stein	Moderne alkalische Baustoffe und die Probleme bei der Konservierung von Denkmälern
Binda et al. 1985	L. Binda, G. Baronio, A. E. Charola, 'Deterioration of Porous Materials due to Salt Crystallization under different thermohygrometric Conditions. I. Brick, in: Proceedings of the 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 25.-27. Sept. 1985, 279-288	Stein	Deterioration of Porous Materials due to Salt Crystallization under different thermohygrometric Conditions.
Faugere et al. 1985	J. G. Faugere, et al., Elimination des sels solubles presents dans des pierres sculptures Gallo-Romaines au moyen de pates a base de cellulose en poudre, in: Proceedings of the 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 25.-27. Sept. 1985, 1017-1024	Stein	Elimination des sels solubles presents dans des pierres sculptures Gallo-Romaines au moyen de pates a base de cellulose en poudre
Ferragini et al. 1985	D. Ferragini - M. Forti - J. Malliet - G. Torraca, Tecniche di conservazione degli intonaci, in: Guido Biscontin (Hrsg.), L'intonaco: storia, cultura e tecnologia. Atti del convegno di studi, Bressanone 24.-27. Juni 1985, 327-338	Wand	Tecniche di conservazione degli intonaci
Friese & Birkenhofer 1985	P. Friese, H. Birkenhofer, Elektrochemische Entsalzung von Mauerwerk, Teil 2, Praktische Ausführung und Trocknung.- Bauphysik 7, 105 (1985)	Stein (Mauerwerk)	Elektrochemische Entsalzung von Mauerwerk
Hammer 1985	I. Hammer, Probleme der Erhaltung verputzter historischer Architektur. In: Guido Biscontin (Hrsg.), L'intonaco: storia, cultura e tecnologia. Atti del convegno di studi, Bressanone 24.-27. Juni 1985, 339-352	Wand	Probleme der Erhaltung verputzter historischer Architektur
Kraus 1985	K. Kraus, Experimente zur immissionsbedingten Verwitterung der Natursteine des Kölner Doms im Vergleich zu deren Verhalten am Bauwerk.- Dissertation Universität Köln, 1985	Stein	Immissionsbedingte Verwitterung der Natursteine des Kölner Doms im Vergleich zu deren Verhalten am Bauwerk.
Pühringer & Perander 1985	J. Pühringer, Th. Perander, Extraction of Salt from Materials of coarse Porosity, Hydrated Salts and Degradation of Materials, in: Proceedings of the 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 25.-27. Sept. 1985, 251-254 (2)	Stein	Extraction of Salt from Materials of coarse Porosity, Hydrated Salts and Degradation of Materials
Schiessl 1985	U. Schiessl, Stereochromie. Zur Entwicklung der Maltechnik mit Alkalisilikaten und der gleichzeitigen Entwicklung der Irrwege der Putz- und Steinkonservierung damit seit 1825, in: Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei, Bern 1985, 158-168	Wand/Stein	Zur Entwicklung der Maltechnik mit Alkalisilikaten und der gleichzeitigen Entwicklung der Irrwege der Putz- und Stein-konservierung damit seit 1825
Skibinski 1985	S. Skibinski, Udział soli rozpuszczalnych w wodzie w procesach niszczenia kamiennych obiektów zabytkowych oraz konserwatorskie sposoby organiczania ich działania (summary in English), in: ochrona zabytków, No. 3-4/1985, 244-258 (1)		Udział soli rozpuszczalnych w wodzie w procesach niszczenia kamiennych obiektów zabytkowych oraz konserwatorskie sposoby organiczania ich działania (summary in English)
Skibinski 1985	S. Skibinski, Salt removal from stone historical objects by means of membrane electro dialysis, in: 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 25-27 sept., 1985, G. Felix - V. Furlan (eds), Lausanne 1985, 959-965	Stein	Salt removal from stone historical objects by means of membrane electro dialysis.
Zehnder & Arnold & Spirig 1985	K. Zehnder, A. Arnold, H. Spirig, Zerfall von Wandmalerei durch lösliche Salze am Beispiel der Krypta des Großmünsters Zürich, in: Historische Technologie und Konservierung von Wandmalerei. Vortragstexte der dritten Fach- und Fortbildungstagung der Fachklasse Konservierung und Restaurierung, Schule für Gestaltung Bern 5./6. November 1984, Bern 1985, 14-39	Wand	Zerfall von Wandmalerei durch lösliche Salze am Beispiel der Krypta des Großmünsters Zürich
Arnold & Küng & Zehnder 1986	A. Arnold, A. Küng, K. Zehnder, Deterioration and Preservation of Carolingian and Medieval Mural Paintings in the Münstair Convent (Switzerland), in: Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings (Preprints of the contribution to the Bologna Congress, 21-26 September 1986), London (IIC) 1986, 190-194	Wand	Deterioration and Preservation of Carolingian and Medieval Mural Paintings in the Münstair Convent (Switzerland)
Bock 1986	E. Bock, Biologisch induzierte Korrosion von Naturstein - starker Befall mit Nitrifikanten, in: Bautenschutz und Bausanierung, Spezialnummer, 1986, 42-45	Stein	Biologisch induzierte Korrosion von Naturstein - starker Befall mit Nitrifikanten

Bradley & Hanna 1986	S. M. Bradley, S. B. Hanna, The Effect of soluble Salt Movements on the Conservation of an Egyptian Limestone Standing Figure, Preprints of the Contributions to the Bologna Congress, 21-26 Sept. 1986, N. S. Brommelle & P. Smith, London 1986, 57-61	Kalkstein	The Effect of soluble Salt Movements on the Conservation of an Egyptian Limestone Standing Figure
Friese & Pohlmann 1986	P. Friese, L. Pohlmann, „Zustandsanalyse von Mauerwerk mit aufsteigender Feuchtigkeit, in: Bauphysik 8, p.7 (1986)	Stein (Mauerwerk)	Zustandsanalyse von Mauerwerk mit aufsteigender Feuchtigkeit
Hammer et al. 1986	I. Hammer, F. Höring, M. Koller, H. Paschinger, Dürnstein - Untersuchung, Analyse Restaurierung, in: Stift Dürnstein - Eine Restaurierung, Denkmalpflege in Niederösterreich, Vol. 1, Wien 1986, 44-47	Wand	Stift Dürnstein - Untersuchung, Analyse Restaurierung,
Kollmann 1986	H. Kollmann, Reaktionen von bauschädlichen Sulfaten und Chloriden mit Bleihexafluorsilikat, in: Bautenschutz und Bausanierung, 9.Jg., Nr. 1, 24-29 (1986)	Stein	Reaktionen von bauschädlichen Sulfaten und Chloriden mit Bleihexafluorsilikat
Lazzarini & Tabasso 1986	L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, Il restauro della pietra, Padova 1986 (frz.: La restauration de la pierre, übers. v. Jaques Philippon, Maurecourt (ERG) 1989)	Stein	Il restauro della pietra
Richard 1986	H. Richard, Möglichkeiten und Grenzen des Nachweises von historischen SO ₂ -Belastungen am Beispiel von Fassadenuntersuchungen im Tiroler Inntal, in: Naturwissenschaft und Technik in der Kunst. 2. Tagung, Innsbruck, Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Wien 1986	Wand	Möglichkeiten und Grenzen des Nachweises von historischen SO ₂ -Belastungen am Beispiel von Fassadenuntersuchungen im Tiroler Inntal
Snehlage 1986	R. Snehlage, Steinkonservierung 1979-1983, Arbeitsheft 22 des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, München (1986)	Stein	Steinkonservierung 1979-1983
Torraca 1986	G. Torraca, Poröse Baustoffe - Eine Materialkunde für die Denkmalpflege, transl.and revised by J. Weber, Vienna 1986	Stein/Wand	Poröse Baustoffe
Wihr 1986	R. Wihr, Restaurierung von Steindenkmälern, München 1986	Stein	Restaurierung von Steindenkmälern
Zehnder & Arnold & Spirig 1986	K. Zehnder - A. Arnold - H. Spirig, Zerfall von Wandmalerei durch lösliche Salze, in: Maltechnik/Restauro 92 (1986), 9-33	Wand	Zerfall von Wandmalerei durch lösliche Salze
Botticelli 1987	G. Botticelli, Metodologia di pulitura per pitture murali e di consolidamento con un materiale minerale (bario idrato), in: Atti del convegno "Il restauro nello opere d'arte", Accademia Nazionale Virgiliana di Scienze; Lettere e Arti, Mantova 1987, S.43-53.(Bariumhydroxid-Methode)	Wand	Bariumhydroxid-Methode
Danti 1987	C. Danti, Conclusioni, in: Atti del convegno "Il restauro nello opere d'arte", Accademia Nazionale Virgiliana di Scienze; Lettere e Arti, Mantova 1987, S.43-53.(Bariumhydroxid-Methode)		Atti del convegno "Il restauro nello opere d'arte"
Giskow 1987	R. Giskow, Messungen von Diffusionsparametern an Sandsteinen: Ein Beitrag zur Frage des Stofftransportes in Sedimenten, Dissertation an der Rupprechts-Karls-Universität, Heidelberg, Heidelberger Geowiss., Abh. 7, 1987	Sandstein	Messungen von Diffusionsparametern an Sandsteinen: Ein Beitrag zur Frage des Stofftransportes in Sedimenten
Hammer 1987 a	I. Hammer, Chronologie der Konservierung der romanischen Wandmalereien um 1080 im ehem. Läuhaus der Stiftskirche Lambach, in: Konservieren und Restaurieren, Mitteilungen des Österreichischen Restauratorenverbandes 1/1987	Wand	Chronologie der Konservierung der romanischen Wandmalereien der Stiftskirche Lambach
Hammer 1987 b	I. Hammer, Organique ou minéral? Problèmes de consolidation et de fixation des peintures murales, in: SCR-Association Suisse de Conservation et Restauration (ed.), Produits synthétiques pour la conservation et la restauration des oeuvres d'art. 3e partie. Utilisation des produits synthétiques 2. Séminaire 19./20./21. novembre 1987 à Interlaken, Bern (Haupt) 1988, 62-76	Wand	Organisch oder mineralisch? Probleme der Konsolidierung und Fixierung von Wandmalerei
Lehmann 1987	J. Lehmann, The Methodology for the Cleaning and Desalting of Stone Objects in Goluchow Castle Museum, in: ICOM 8th Triennial Meeting, Sidney/Australia, 6.-11. Sept. 1987, 487-491 (Los Angeles, GCI)	Stein	The Methodology for the Cleaning and Desalting of Stone Objects
Matteini & Moles 1987	M. Matteini, A. Moles, La metodologia del "bario" in relazione ai problemi di solfatazione e di decoesione che interessano i dipinti murali; in: Atti del convegno "Il restauro nello opere d'arte, Accademia Nazionale Virgiliana di Scienze; Lettere e Arti, Mantova 1987, S.33-41.	Wand	Bariumhydroxid-Methode
Paolucci 1987	A. Paolucci, L'applicazione dell'idrossido di bario per il consolidamento delle pitture murali. il metodo e la prassi; in: Atti del convegno "Il restauro nello opere d'arte", Accademia Nazionale Virgiliana di Scienze; Lettere e Arti, Mantova 1987, S.29-32	Wand	Bariumhydroxid-Methode
Torraca 1987	G. Torraca, Dangers présentés par l'utilisation des produits synthétiques pour les oeuvres D'art et pour les restaurateurs, in: SCR, Association suisse de conservation et restauration, Produits synthétiques pour la conservation et la restauration des oeuvres d'art, 1ère partie. Notions de base, Séminaire 28-30 nov. 1985 à Berne, Bern-Stuttgart 1987, 41-56		Gefahren bei der Verwendung synthetischer Stoffe in der Restaurierung
Ahrendt & Demberger 1988	C. Ahrendt, L. Demberger; Standzeiten und Leistungsfähigkeit von bauüblichen Elektroden zur Trockenlegung feuchten Mauerwerks, in: Bautenschutz & Bausanierung 11, 1988, 178-183	Stein (Mauerwerk)	Standzeiten und Leistungsfähigkeit von bauüblichen Elektroden zur Trockenlegung feuchten Mauerwerks,
Ashurst 1988	J. & N. Ashurst, Stone Masonry - Practical Building Conservation, English Heritage Technical Handbook, Vol. 1, Aldershot 1988	Stein	Stone Masonry - Practical Building Conservation
Friese 1988	P. Friese, Ein neues Verfahren zur Sanierung salzverseuchter Wände mit aufsteigender Feuchtigkeit, in: Bautenschutz & Bausanierung, 11, Nr.4, 1988, 122-127	Wand	Ein neues Verfahren zur Sanierung salzverseuchter Wände mit aufsteigender Feuchte
Friese 1988	P. Friese, Removing of soluble salts and drying of masonry by means of electrochemical techniques, in: 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun 12.-14.09.1988, 624-632	Stein	Removing soluble salts and drying of masonry by means of electrochemical techniques
Fritsch & Schamberg 1988	H. Fritsch, E. Schamberg, The influence of salts on the impregnation of natural stone materials, 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun, 12-14. 9. 1988, 171-181	Stein	The influence of Salts on the impregnation of natural stone materials

Grissom et al. 1988	C. Grissom et al., Methyl Cellulose Poulitce Cleaning of a Large Marble Sculpture, in: 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun 12.-14.09.1988, Torun 1988, 551-562	Stein	Methyl Cellulose Poulitce Cleaning of a Large Marble Sculpture
Hammer 1988 c	I. Hammer, Nachfreilegung und Restaurierung der Wandmalereien an der Südfassade der Pfarrkirche Saak. In: Restauratorenblätter 9, 1987/88 Österreichische Sektion des IIC, Arsenal 15/4, A - 1030 Wien, 139-147	Wand	Nachfreilegung und Restaurierung der Wandmalereien an der Südfassade der Pfarrkirche Saak
Hammer 1988 d	I. Hammer, Sinn und Methodik der restauratorischen Befundsicherung. Zur Untersuchung und Dokumentation von Wandmalerei und Architekturoberfläche., in: Restauratorenblätter 9, 1987/88, Österreichische Sektion des IIC, Arsenal 15/4, A - 1030 Wien, 34-58	Wand	Untersuchung und Dokumentation von Wandmalerei und Architekturoberfläche
Hammer 1988 a	I. Hammer, Organisch oder anorganisch? Probleme der Konsolidierung und Fixierung von Wandmalerei, in: Restauratorenblätter 9, 1987/88, 59-72	Wand	Organisch oder anorganisch? Probleme der Konsolidierung und Fixierung von Wandmalerei
Hammer 1988 b	I. Hammer, Zur in situ-Konservierung der romanischen Wandmalereien der Stiftskirche Lambach, in: Restauratorenblätter 9, 1987/88, 89-97	Wand	Konservierung der romanischen Wandmalereien der Stiftskirche Lambach
Koller 1988	M. Koller, Aktuelle Wasser-Fälle, in: Restauo 3/1988, 173-180		Aktuelle Wasser-Fälle
Leitner 1988	H. Leitner, Reinigung großflächiger Wandmalereien, in: Restauratorenblätter 9, 1987/88, 120-125	Wand	Reinigung großflächiger Wandmalereien
Tabasso 1988	M. Laurenzi Tabasso, Conservation Treatments of Stone, in: Lorenzo Lazzarini und R. Pieper (Hrsg.), The Deterioration and Conservation of Stone. Notes from the International Venetian Courses on Stone Restoration, (Studies and Documents on the cultural heritage 16, UNESCO), Venedig 1988, 271-280	Stein	Conservation Treatments of Stone
Theoulakis & Moropoulou 1988	P. Theoulakis, T. Moropoulou, Mechanism of deterioration of the sandstone of the medieval city of Rhodos, in: Proceedings of the 6 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun 1988, 86-96	Sandstein	The production, concentration and vertical distribution of the sea-salt aerosol
Zehnder & Arnold 1988	K. Zehnder, A. Arnold, New Experiments on Salt Crystallization, in: 6th International Congress on the Deterioration an Conservation of Stone, Torun 12.-14. Sept. 1988, 320-329	Stein	New Experiments on Salt Crystallization
Arendt 1989	K. Arendt, Die Instandsetzung tragenden Mauerwerks, in: Bautenschutz und Bausanierung, 12 (1989), 57-66	Stein (Mauerwerk)	Die Instandsetzung tragenden Mauerwerks
Arnold & Zehnder 1989	A. Arnold, K. Zehnder, Salt weathering on monuments, in: F. Zezza (Hrsg.) The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Bari 1989, 31-58	Stein	Salt weathering on monuments (monuments in the Mediterranean Basin)
Dannecker & Selke 1989	W. Dannecker, K. Selke, Simultanbestimmung organischer und anorganischer Anionen aus verwitterten Natursteinoberflächen mittels Gradienten-Ionen-Chromatographie, Fres. Z. Anal. Chem. 335, 966-970	Stein	Simultanbestimmung organischer und anorganischer Anionen aus verwitterten Natursteinoberflächen mittels Gradienten-Ionen-Chromatographie
Hammer 1989	I. Hammer, Konservierungsmaßnahmen an den romanischen Wandmalereien von Salzburg Nonnberg, in: Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege 1/2 1989, 89-91	Wand	Konservierungsmaßnahmen an den romanischen Wandmalereien von Salzburg Nonnberg
ICR 1989	Istituto Centrale del Restauro (ICR) (Hrsg.), Pittura a Fresco. Mostra didattica, Firenze 1989	Wand	
Kennedy et al. 1989	J. F. Kennedy, G. O. Phillips, P. A. Williams, Cellulose: structural and functional Aspects, in: Proceedings of Cellulose-88, Kyoto 1988, Chichester, New York 1989		Cellulose: structural and functional Aspects
Koller 1989	M. Koller, Denkmalpflege mit Opferschichten, in: Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege 1989, 48-52	Putz	Opferschichten
Kuhl & Kollmann 1989	O. Kuhl, H. Kollmann, G. Strübel, Wirkung von Salzbehandlungen mit Bleihexafluorsilikat, in: Bautenschutz & Bausanierung 12 (1989), 90-92		Wirkung von Salzbehandlungen mit Bleihexafluorsilikat
Lipfert 1989	F. W. Lipfert, Dry Deposition Velocity as an Indicator for SO ₂ Damage to Materials, J. Air Poll. Contr. Assoc. 39, 1989, 446-452		Dry Deposition Velocity as an Indicator for SO ₂ Damage to Materials
Nägele 1989	E. Nägele, Elektrische Verfahren für die Trocknung und Entsalzung von Mauerwerk, in: Bautenschutz & Bausanierung, 12 (1989), 67-75	Stein	Elektrische Verfahren für die Trocknung und Entsalzung von Mauerwerk
Pizzigoni et al. 1989	G. Pizzigoni, S. Giovannoni, P. L. Parrini, Pulitura degli affreschi della cappella Brancacci, in: Il Cantiere della Conoscenza, il Cantiere del Restauro, Atti del convegno di Studi Bressanone 27.-30. Juni 1989, Padova 1989, 393-401	Wand	Pulitura degli affreschi della cappella Brancacci
Skibinski 1989	S. Skibinski, Odsalanie Kamiennych Obiektów Zabytkowych (Metoda Elektrodializy Membranowej) Wydanie II zmienione i poszerzone The desalting of stone historic objects (by means of membrane electro dialysis) 2nd Edition altered and expanded, Osrodek Dokumentacji Zabytków, Biblioteka Muzealnictwa I Ochrony Zabytków, Seria B, Tom LXXXIV, Warszawa 1989, Ministerstwo Kultury I Sztuki Generalny Konserwator Zabytków,	Stein	Odsalanie Kamiennych Obiektów Zabytkowych (Metoda Elektrodializy Membranowej) Wydanie II zmienione i poszerzone The desalting of stone historic objects (by means of membrane electro dialysis)
Umierski & Brüggerhoff & Mirwald 1989	H. Umierski, S. Brüggerhoff, P. W. Mirwald, Untersuchungen zur Probennahme und Analyse von Porenwässern aus Natursteinen, in: Jahresberichte a. d. Forschungsprogramm Steinzerfall - Steinkonservierung, Bd.1 1989, 131-145	Stein	Untersuchungen zur Probennahme und Analyse von Porenwässern aus Natursteinen
Zehnder & Arnold 1989	K. Zehnder, A. Arnold, Crystal growth in salt efflorescence, Journal of Crystal Growth 97 (1989), 513-521	Wand/Stein	Crystal growth in salt efflorescence
Arendt & Wiesen 1990	C. Arendt, H. Wiesen, Verfahren zur Untersuchung von Mauerfeuchtigkeit, in: Hrsg. Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB). Düsseldorf: Satz und Druck, 1990	Mauerwerk	Verfahren zur Untersuchung von Mauerfeuchtigkeit

Biscontin et al. 1990	G. Biscontin, G. Driussi, S. Volpin, (1990): Studio sullo stato di conservazione di affreschi esterni a Padova, in: C. Danti, M. Matteini, A. Moles (Hrsg.), Le pitture murali. Tecniche, problemi, conservazione, Florenz 1990, 217-224	Wand	Studio sullo stato di conservazione di affreschi esterni a Padova
Bläuer 1990	C. Bläuer, Salze und Salzkrusten, in: Wandmalerei-Schäden, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 8, Hanover 1990, 110-114	Wand	Salze und Salzkrusten
Hammer & Lux 1990	I. Hammer, E. Lux, Theory and Practice. Remarks on the Examination and Conservation of the Romanesque Mural Paintings in Salzburg Nonnberg, in: ICOM Committee for Conservation, Preprints of the 9 th Triennial Meeting, Dresden 26.-31. Aug. 1990, Los Angeles 1990, 507-512	Wand	Konservierungsmaßnahmen an den romanischen Wandmalereien von Salzburg Nonnberg
Hammer 1990	I. Hammer, Conservation of historical renderings and cooperation with artisans. Two pilot projects in the Wachau/Austria, in: Superfici dell'architettura: le finitur, Atti del convegno di studi Bressanone 26.-29.6.1990, 357-366, Taf. 16	Wand	Conservation of historical renderings and cooperation with artisans
Lazzarini & Lombardi 1990	L. Lazzarini, G. Lombardi, Bentonite for Cleaning and Desalination of Stone, in: ICOM Committee for Conservation, Preprints of the 9 th Triennial Meeting, Dresden 26.-31. Aug. 1990, Los Angeles 1990, 336-339	Stein	Bentonite for Cleaning and Desalination of Stone
Matteini & Moles 1990 a	M. Matteini, A. Moles, Considerazione sui processi più frequenti dei dipinti murali, in: C. Danti, M. Matteini, A. Moles (Hrsg.): Le pitture murali. Tecniche, problemi, conservazione, Florenz 1990, 155-160	Wand	Considerazione sui processi più frequenti dei dipinti murali
Matteini & Moles 1990 b	M. Matteini, A. Moles, Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in der Restaurierung, Munich 1990	Wand/Stein /Gemälde	Naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden in der Restaurierung
Matteini et al. 1990	M. Matteini, A. Moles, F. Bandini, G. Botticelli, Dipinti murali: riflessioni sulle scelte metodologiche per la conservazione, in: C. Danti, M. Matteini, A. Moles (Hrsg.), Le pitture murali. Tecniche, problemi, conservazione, Florenz 1990, 241-246	Wand	Dipinti murali: riflessioni sulle scelte metodologiche per la conservazione
Naud & Martelli Castaldi 1990	C. Naud, M. Martelli Castaldi, Utilisation des Absorbants pour le Nettoyage des Fresques, in: ICOM Committee for Conservation, Preprints of the 9 th Triennial Meeting, Dresden 26.-31. Aug. 1990, Los Angeles 1990, 524-529	Wand	Utilisation des Absorbants pour le Nettoyage des Fresques
Pauri 1990	N. Pauri, Il degrado degli intonaci per risalita capillare di soluzione di solfato e nitrato, in: Scienza e beni culturali. Superfici dell'architettura: le finiture, atti del convegno di studi, G. Biscontin et al. (Hrsg.), Bressanone 1990, 272-282		Il degrado degli intonaci per risalita capillare di soluzione di solfato e nitrato
Pühringer & Weber 1990	J. Pühringer, J. Weber, A model for Salt Extraction – some Principles, in: ICOM Committee for Conservation, Preprints of the 9 th Triennial Meeting, Dresden 26.-31. Aug. 1990, Los Angeles 1990, 355-360		A model for Salt Extraction
Sattler 1990	L. Sattler et al, Steinfestigung an salzbelastetem Sandstein, Vortrag DGM-Tagung, Würzburg (1990)	Stein (Sandstein)	Steinfestigung an salzbelastetem Sandstein
Skibinski 1990	S. Skibinski, The Participation of water soluble Salts in the Process of Destruction of historic Stone Artefacts and Conservation Techniques of reducing their Effects, in: La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo (Atti del 1° Simposio internazionale), Bari 7-10. June 1989, Brescia 1990, 519-520	Stein (Steinergänzungen)	The Participation of water soluble Salts in the Process of Destruction of historic Stone Artefacts and Conservation Techniques of reducing their Effects
Weber 1990	H. Weber, Bautenschutz und Bausanierung, in: Theorie und Praxis (Bayerische Bautenschutz Fachplanungs GMBH) 1990	Wand/Stein	Bautenschutz und Bausanierung
Windsheimer 1990	B. Windsheimer (Projektleitung: R. Wihr, R. Snethlage), Die Entsalzung von Steindenkmälern im Freien, Abschlußbericht des von der Volkswagen-Stiftung geförderten Forschungsvorhabens, Bayer. Landesamt für Denkmalpflege, Steinkonservierung, Aussenstelle Bamberg, Schloss Seehof, Dez. 1990	Stein	Die Entsalzung von Steindenkmälern im Freien,
Arendt 1991	Arendt, C., 'The Role of Architectural Fabric in the Preservation of Wall Paintings', in The Conservation of Wall Paintings, ed. S. Cather, Marina del Rey 1991, 29-42	Wand	Architectural Fabric in the Preservation of Wall Paintings
Arnold & Zehnder 1991	A. Arnold, K. Zehnder, Monitoring wall paintings affected by soluble salts, in: S. Cather (Hrsg.) The conservation of wall paintings, Marina del Rey 1991, 103-136	Wand	wall paintings affected by soluble salts
Arnold et al. 1991	A. Arnold, K. Zehnder, A. Küng, O. Emmenegger, Wandmalereizerfall, Salze und Raumklima in der Klosterkirche von Müstair, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 2 (1991), 171-200	Wand	Wandmalereizerfall, Salze und Raumklima in der Klosterkirche von Müstair
Dreyer 1991	J. Dreyer, Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin, in: Bautenschutz & Bausanierung 6, 1991, 22-28	Stein (Mauerwerk)	Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin
Esbert et al. 1991	R. M. Esbert et al., Mechanical Stresses generated by Crystallization of Salts inside treated and non-treated monumental Stones: Monitoring and Interpretation by acoustic Emission, Materials Issue in Art and Archaeology II, Material Research Society Symposium Proceedings Vol. 185, Pittsburg, Penn. 1991, 285-296	Stein	Mechanical Stresses generated by Crystallization of Salts inside treated and non-treated monumental Stones: Monitoring and Interpretation by acoustic Emission
Friese 1991	P. Friese, Desalination of Brickwork, NATO-CCMS Pilote Study Conservation of Historic Brick Structures, in: Proceedings of the 5 th Expert Meeting Berlin 17-19. Oct. 1991 ed. Umweltbundesamt, Berlin 1992, 186-194	Stein (Ziegelstein)	Desalination of Brickwork
Fritz 1991	E. Fritz, 'Reinigungs- und Umwandlungsverfahren mit Ammoniumcarbonat – Möglichkeiten und Gefahren bei Einsatz an Wandmalereien' (unpubl. diss. Fachhochschule Hildesheim, 1991)	Wand	Möglichkeiten und Gefahren bei Einsatz von Ammonium-carbonat an Wandmalereien
Gabrielli 1991	N. Gabrielli, 'Mural Paintings' in Science, Technology and European Cultural Heritage (Proceedings of the European Symposium), Bologna 13-16 June 1989, ed. N.S. Baer et al., Oxford 1991, 168-179	Wand	Mural Paintings' in Science, Technology and European Cultural Heritag

Giradet & Furlan 1991	F. Giradet, V. Furlan, The Ratio between the Dry Deposition of Sulfur by Aerosol and by Gas on Vertical Stone Surface, in: Proceedings of the European Symposium Bologna, June 1989, in Science, Technology and European Cultural Heritage, Butterworth-Heinemann Ltd, 350-353	Stein	The Ratio between the Dry Deposition of Sulfur by Aerosol and by Gas on Vertical Stone Surface
Grassegger & Grüner 1991	G. Grassegger, G. Grüner, Extraction of salts on monuments: evaluation of results from applications and boundary conditions, Otto Graf Journal, Vol. 2, 1991, 57-71	Stein	Extraction of salts on monuments: evaluation of results from applications and boundary conditions
H. Weber et al. 1991	H. Weber, K. Zinsmeister, Conservation of natural stone, Ehningen bei Böblingen 1991	Stein	Conservation of natural stone
Hammer 1991	Ivo Hammer, The conservation in situ of the romanesque wall Paintings of Lambach, in: S. Cather (Hrsg.) The conservation of wall paintings, Proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute London, July 13-16, 1987, Los Angeles 1991, 43-56	Wand	The conservation in situ of the romanesque wall paintings of Lambach
Künzel 1991	H. Künzel, Trocknungsblockade durch Mauerversalzung, in: Bautenschutz & Bausanierung 14, 1991, 63-66,	Stein	Trocknungsblockade durch Mauerversalzung
Matteini 1991	Matteini, M., In Review: an assessment of Florentine methods of wall painting conservation based on the use of mineral treatment, in: The conservation of wall paintings, S. Cather (Hrsg.), Marina del Rey 1991, 137-148	Wand	an assessment of Florentine methods of wall painting conservation based on the use of mineral treatment
Oeter 1991	Martina Oeter, Reinigung von Wandmalereien und Objekten aus Stein mit Ionenaustauschharzen, unpubl. Dipl. diss. Fachhochschule, Köln 1991	Wand/Stein	Reinigung von Wandmalereien und Objekten aus Stein mit Ionenaustauschharzen
Rösch & Schwarz 1991	H. Rösch, H. J. Schwarz,, 'Salz – der Intimfeind von Wandmalereien', Berichte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 2 (1991), 68-71	Wand	Salze an Wandmalereien
Schmitz et al. 1991	Heinz Schmitz et al., Verminderung von Kellerfeuchtigkeit in Altbauten – Verschiedene Verfahren im Praxisvergleich, in: Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung NRW, 2, 11, 1992 (LBB Aachen)	Stein (Mauerwerk)	Verminderung von Kellerfeuchtigkeit in Altbauten – Verschiedene Verfahren im Praxisvergleich
Steiger & Neumann & Ulrich & Dannecker 1991	M. Steiger, H.-H. Neumann, A. Ulrich, W. Dannecker, Chemische Zusammensetzung und Verteilung löslicher Salze in Natursteinmauerwerk, Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinerfall-Steinkonservierung, Band3 – 1991, Verlag Ernst & Sohn, S. 2-33	Stein	Chemische Zusammensetzung und Verteilung löslicher Salze in Natursteinmauerwerk
Tennikat & Johannes 1991	M. Tennikat, W. Johannes, Gipsbildung in neuzeitlichen und romanischen Wandputzen im Zusammenhang mit Schäden an Wandmalereien, Beiträge zur Elektronenmikroskopischen Direktabbildung von Oberflächen, 24, 1, 1991, 173-182	Wand	Gipsbildung in neuzeitlichen und romanischen Wandputzen im Zusammenhang mit Schäden an Wandmalereien
Windsheimer & Snetlage & Wihr 1991	Windsheimer, R. Snetlage, R. Wihr, Die Entsalzung von Steindenkmälern im Freien, Forschungsberichte Nr. 4/1991, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege – Zentrallabor, München 1991	Stein	Entsalzung von Steindenkmälern im Freien
Wittmann 1991	F. H. Wittmann, Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Elektrokinese und Elektrolyse im Bauwesen. Proc. WTA-Workshop, WTA-Geschäftsstelle: Ahornstraße 5, 82065 Baierbrunn, Juni 1991	Stein	Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung der Elektrokinese und Elektrolyse im Bauwesen
Charola & Weber 1992	A. E.Charola, J. Weber, The Hydration and Dehydration Mechanism of Sodium Sulphate, in: Proceedings of the 7 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, ed. J. Delgado Rodrigues et al., Lisbon 1992, 581-590	Stein	Hydration and Dehydration Mechanism of Sodium Sulphate
De Witte & Dupas 1992	E. De Witte und M. Dupas, Cleaning poultices on E.D.T.A., in: Proceedings of the International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, Vol. 3, 1023-1031	Stein	Cleaning poultices on E.D.T.A
Ethl & Schuh 1992	H. Ethl, H. Schuh, Entsalzungsversuche an Sandsteinen, in: Die Geowissenschaften, 10, 1992, Nr. 9-10	Stein (Sandstein)	Entsalzungsversuche an Sandsteinen
Großes Schmidt 1992	Großes Schmidt, "... Linzer Stadtgespräche: Neue Wege der Klimatisierung im Altbau... Hrsg. Stadtmuseum Nordico, Linzer Planungsinstitut. Linz: 1992	Mauerwerk/Stein	Thermische Bausanierung
Hilbert & Müller-Rochholz & Zinsmeister 1992	G. Hilbert, J. Müller-Rochholz, K. Zinsmeister, Salzeinlagerung in Sanierputzgefüge, Teil 1: Einleitung/Sanierputzgefüge, in: Bautenschutz & Bausanierung, 15 (6), 1992, 69-71 Teil 2: Salzeinlagerungsverhalten-Schlußfolgerungen für die Praxis, in Bautenschutz & Bausanierung, 15 (7), 1992, 78-80	Sanierputz	Salzeinlagerung in Sanierputzgefüge, Teil 1: Einleitung/Sanierputzgefüge Teil 2: Salzeinlagerungsverhalten-Schlußfolgerungen für die Praxis
Hilbert et al. 1992	G. Hilbert, J. Müller-Rochholz, K. Zinsmeister, Sanierputz ist nicht gleich Sanierputz – Eigenschaftsprofile von Sanierputzen in Hinblick auf die Salzeinlagerung, in: Alte Bausubstanz erhalten ..., ed. Remmers GmbH & Co., Löningen 1992	Putz	Eigenschaftsprofile von Sanierputzen in Hinblick auf die Salzeinlagerung
Hoffmann & Roß 1992	D. Hoffmann, H. Roß, Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk, in: Bautenschutz & Bausanierung 15, 1992, 81-83	Stein (Mauerwerk)	Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk
Honsinger 1992	D. Honsinger, Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtetem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 2, in: Bautenschutz & Bausanierung 15, 1992, 75-78	Mauerwerk/Stein	Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtetem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion
Krarpup 1992	T. Krarpup, Nedbrydning og konservering af saltificeret kalksten i museums klima, 1. dels afgangssopgave fra kulturhistorisk linie, Konservatorskolen, Det Kongelige Danske Kunstakademi, Kobenhavn 1992	Stein	Nedbrydning og konservering af saltificeret kalksten i museums klima, 1. dels afgangssopgave fra kulturhistorisk linie, Konservatorskolen
Lanterna et al. 1992	G. Lanterna, M. Nepoti, M. Rizzi, I. Tosini, 'Processi estrattivi di sali solubili dalle malte di intonaco. I. Introduzione, primi controlli e confronti', OPD restauro, N.S. 4 (1992), 117-120	Wand	Processi estrattivi di sali solubili dalle malte di intonaco. I. Introduzione, primi controlli e confronti'

McMahon et al. 1992	D. McMahon, P. Sandberg, K. Folliard, P. K. Mehta, 'Deterioration Mechanisms of Sodium Sulphate' (Proceedings of the 7 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone) ed. J. Delgado Rodrigues et al., Lisbon 1992, 705-714	Stein	Deterioration Mechanisms of Sodium Sulphate
Nägele 1992	E. W. Nägele, 'Die Rolle von Salzen bei der Verwitterung von mineralischen Baustoffen', <i>Bautenschutz + Bausanierung</i> 15 (1992), [26-29]	Stein	Die Rolle von Salzen bei der Verwitterung von mineralischen Baustoffen
Nägele et al. 1992	E. W. Nägele et al., Die Rolle von Salzen bei der Verwitterung von mineralischen Baustoffen, WTA – Schriftenreihe Heft 1, Hrsg.: Prof. Dr. F. H. Wittmann, Mai 1992	Stein	Die Rolle von Salzen bei der Verwitterung von mineralischen Baustoffen
Piqué et al. 1992	F. Piqué, L. Dei, E. Ferroni, Physicochemical Aspects of the Deliquescence of Calcium Nitrate and its Implications for Wall Painting Conservation, in: <i>Studies in Conservation</i> 37 (1992), 217-227	Wand	Physicochemical Aspects of the Deliquescence of Calcium Nitrate and its Implications for Wall Painting Conservation
Riederer 1992	J. Riederer, Die Salzsäuren am Deutschen Dom in Berlin, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> 15 (1992), 54-56	Stein	Die Salzsäuren am Deutschen Dom in Berlin
Sattler 1992	L. Sattler, Festigung an salzbelastetem Sandstein, in: <i>Arbeitsblätter für Restauratoren</i> , Heft 2, 1992	Stein	Festigung an salzbelastetem Sandstein
Schuh & Ettl 1992	H. Schuh, H. Ettl, Entsalzung mit Kompressen in der Denkmalpflege, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 15, 86-89, (1992)	Stein	Entsalzung mit Kompressen in der Denkmalpflege
Skoulidis & Papakonstantinou 1992	Th. Skoulidis und P. Papakonstantinou, Stone Cleaning by inversion of Gypsum back to Calcium Carbonate, in: <i>Stone Cleaning and the nature, soiling and decay mechanisms of stone</i> , 14.-16. April 1992, The Robert Gordon Institute of Technology (ed.), Edinburgh 1992	Stein	Stone Cleaning by inversion of Gypsum back to Calcium Carbonate
Wendler & Rückert-Thümling 1992	E. Wendler, R. Rückert-Thümling, Gefügezerstörendes Verformungsverhalten bei salzbefrachteten Sandsteinen unter hygrischer Wechselbelastung, 3. Internationales Kolloquium: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, 15-17 Dez. 1992, Technische Akademie Esslingen Weiterbildungszentrum	Stein Sandstein	Gefügezerstörendes Verformungsverhalten bei salzbefrachteten Sandsteinen unter hygrischer Wechselbelastung
Arendt 1993	C. Arendt, Teil 1 in: <i>Bautenschutz und Bausanierung</i> , 5/1993, 27-34	Mauerwerk	Praktischer Vergleich von Untersuchungsgeräten und -erfahren zur Feuchtemessung in Mauerwerk
Domaslowski (Hrsg.) 1993	W. Domaslowski (Hrsg.), <i>Profilaktyczna konserwacja kamiennych obiektów zabytkowych</i> , UMK, Torun 1993	Stein	Profilaktyczna konserwacja kamiennych obiektów zabytkowych
Elsner & Molina & Böhni 1993	B. Elsner, M. Molina, H. Böhni, Electrochemical Removal of Chlorids from Reinforced Concrete Structures, in: F. H. Wittman (Hrsg.): <i>Werkstoffwissenschaften und Bausanierung</i> , expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, Teil 1, 1993, 792-804		Electrochemical Removal of Chlorids from Reinforced Concrete Structures
Franke & Bentrup 1993	L. Franke, H. Bentrup, Paraffininjektionsverfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk – Beurteilung der Wirksamkeit, in <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> 16, 1993, 5-8	Stein (Mauerwerk)	Paraffininjektionsverfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk – Beurteilung der Wirksamkeit
Fricke 1993	H. Fricke, Überlegungen zur Anwendung von Bioziden an Wandmalereien am Beispiel der evang.-ref. Kirche in Eilsam (unpubl. diss. Fachhochschule Hildesheim, 1993)	Wand	Überlegungen zur Anwendung von Bioziden an Wandmalereien am Beispiel der evang.-ref. Kirche in Eilsam
Friese & Hermoneit 1993	P. Friese, B. Hermoneit, Entsalzung von Ziegel-mauerwerk mit dem Injektionskompressen-verfahren, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 1993, 16., S. 26-27	Stein	Entsalzung von Ziegel-mauerwerk mit dem Injektions-kompressenverfahren
Grüner & Grassegger 1993	G. Grüner, G. Grassegger, Der Einfluß der Kompressentrocknung auf den Entsalzungseffekt: Laborversuche zur quantitativen Erfassung, in: <i>WTA Berichte</i> 9, 1993, 75-86	Stein	Der Einfluß der Kompressentrocknung auf den Entsalzungseffekt
Hammer 1993	I. Hammer, Die Fassadenmalerei von Burg Forchtenstein. Bestand und Erhaltung. In: "Bollwerk Forchtenstein, Katalog der burgenländischen Landesausstellung 1993 (Burgenländische Forschung, Sonderband XI), Eisenstadt 1993, 114 – 121, 237, Farbtafel 1	Wand	Die Fassadenmalerei von Burg Forchtenstein. Bestand und Erhaltung.
Hettmann 1993	D. Hettmann, Zur Beeinflussung des Feuchte- und Salzgehaltes in Mauerwerk, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 16, 1993, 72-75	Stein (Mauerwerk)	Beeinflussung des Feuchte- und Salzgehaltes in Mauerwerk
Legrum 1993	B. Legrum, Die Entsalzung von Steindenkmälern ein Forschungsprojekt der VW-Stiftung, in <i>Arbeitsblätter für Restauratoren</i> , Heft 2, 1993, S. 282-288	Stein	Die Entsalzung von Steindenkmälern
Neumann & Steiger & Wassmann & Dannecker 1993 a	H.-H. Neumann, M. Steiger, A. Wassmann, W. Dannecker, Aufbau und Ausbildung schwarzer Gipskrusten und damit zusammenhängender Gefügeschäden von Naturwerksteinen am Beispiel des Leineschlusses (Hannover), in: R. Snethlage (Hrsg.), <i>Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinerfall-Steinkonservierung</i> , Band 3-1991, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 151-167	Stein	Aufbau und Ausbildung schwarzer Gipskrusten und damit zusammenhängender Gefügeschäden von Naturwerksteinen am Beispiel des Leineschlusses (Hannover)
Neumann & Klaue & Dannecker 1993 b	H.-H. Neumann, B. Klaue, W. Dannecker, Gipskrusten auf Kohlesandstein- und Elbsandsteinquadern des Zwickauer Doms, <i>Ber. Dt. Min. Ges., Beih. Europ. J. Mineral.</i> 5 (1), 63	Kohlesandstein Elbsandstein	Gipskrusten auf Kohlesandstein- und Elbsandsteinquadern des Zwickauer Doms
Petersen & Hammer 1993	K. Petersen, I. Hammer, Biodeterioration of romanesque wall paintings under salt stress in the Nonnberg Abbey, Salzburg. In: <i>Biodeterioration of cultural property. Proceedings of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property 2 in Yokohama</i> (5.-8. Okt. 1992), Tokyo 1993, 263 – 277 (mit japanischer Übersetzung)	Wand	Biodeterioration of romanesque wall paintings under salt stress in the Nonnberg Abbey, Salzburg.
Raschke 1993	G. Raschke, Entsalzungsmethoden und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Wandmalereibereich. Chemie-Semesterarbeit WS 1992/93 bei Prof. Dr. E. Jaegers, Fachhochschule Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut, unpubl. Ms., Köln 1993	Wand	Entsalzungsmethoden und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Wandmalereibereich
Reul 1993	H. Reul, Mauerwerksentsalzung mit Sanierputzen: Was ist machbar?, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 1993, 9., S. 75-86	Stein	Mauerwerksentsalzung mit Sanierputzen

Rösch & Schwarz 1993	H. Rösch, H. J. Schwarz, 'Damage to Frescoes caused by Sulphate-bearing Salts: where does the Sulphur come from?', <i>Studies in Conservation</i> 38 (1993), 224-230	Wand	Damage to Frescoes caused by Sulphate-bearing Salts: where does the Sulphur come from?
Snethlage 1993	R. Snethlage, <i>Entsalzung, Arbeitsblätter des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege</i> , München Dezember 1993	Stein	Entsalzung
Steiger & Wolf & Dannecker 1993	M. Steiger, F. Wolf, W. Dannecker, Deposition and enrichment of atmospheric pollutants on building stones as determined by field exposure experiments, in: <i>Conservation of Stone and Other Materials</i> , M.-J. Thiel (Hrsg.) E & FN Spon, London 1993, 35-42 (Vol. 1)	Stein	Deposition and enrichment of atmospheric pollutants on building stones as determined by field exposure experiments
Steiger & Neumann & Ulrich & Dannecker 1993	M. Steiger, H.-H. Neumann, A. Ulrich, W. Dannecker, Chemische Zusammensetzung und Verteilung löslicher Salze in Natursteinmauerwerk, in: R. Snethlage (Hrsg.), <i>Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall-Steinkonservierung</i> , Band 3-1991, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 21-33	Stein	Chemische Zusammensetzung und Verteilung löslicher Salze in Natursteinmauerwerk
Wagner 1993	K. Wagner, <i>Entsalzung durch Kompressen</i> (unpubl. Diplomarbeit Fachhochschule Hildesheim, 1993)	Stein	Entsalzung durch Kompressen
Weber 1993	J. Weber, 'Salt-induced Deterioration of Romanesque Wall Paintings in the Church of St. Georgen, Styria, Austria: a case study [...]', in <i>Conservation of Architectural Surfaces: Stone and Wall Coverings</i> , ed. G. Biscontin, L. Graziano, Venice 1993, 97-103	Wand	Salt-induced Deterioration of Romanesque Wall Paintings in the Church of St. Georgen, Styria, Austria
Zenger 1993	R. Zenger, <i>Konzept zur Konservierung mittelalterlicher Wandmalerei auf Ziegelmauerwerk in der Sakristei der ev-luth. Kirche in Ganderkesee</i> (unpubl. dipl. diss. Fachhochschule Hildesheim, 1993)	Wand	Konzept zur Konservierung mittelalterlicher Wandmalerei auf Ziegelmauerwerk in der Sakristei der ev-luth. Kirche in Ganderkesee
Zehnder 1993	A. Zehnder, New aspects of decay caused by crystallization of gypsum. – <i>Conservation of Stone and Other Materials. Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris, Vol.1, S. 107-114</i> , - in:	Stein/Wand	New aspects of decay caused by crystallization of gypsum
Ahrendt 1994	C. Ahrendt, Neue Erkenntnisse in der Mauererks-trockenlegung, in <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> 2, 1994, 69-74	Mauerwerk	Neue Erkenntnisse in der Mauererks-trockenlegung
Bläuer Böhm 1994	C. Bläuer-Böhm, Salzuntersuchungen an Baudenkmalern, in: <i>Kunsttechnologie und Konservierung</i> , Jg. 8/1994, Heft 1, 87-103	Stein	Salzuntersuchungen an Baudenkmalern
Biscontin et al. 1994	G. Biscontin – A. Bakolas – G. Longega – A. Moropoulou, E. Zendri, Proposta di una metodologia per la valutazione della pulitura di superfici lapidee, in: V. Fassina – H. Ott – F. Zezza (eds), <i>III International symposium on the conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Venezia 22.-25. Juni 1994</i> , 929-936	Stein?	Proposta di una metodologia per la valutazione della pulitura di superfici lapidee
Borelli 1994	E. Borelli, Standardizzazione di un metodo di estrazione di sali da supporti porosi e suo utilizzo a scopo diagnostico, in: V. Fassina – H. Ott – F. Zezza (eds), <i>III International symposium on the Conservation of Monuments in the mediterranean Basin, Venezia 22.-25. Juni 1994</i> , 163-167	Stein?	Standardizzazione di un metodo di estrazione di sali da supporti porosi e suo utilizzo a scopo diagnostico
Fassina & Rossetti & Oddone & Mazzocchin & Calogero 1994	V. Fassina, M. Rossetti, M. Oddone, S. Mazzocchin, s. Categori, Marine spray and polluted atmosphere as factors of damage to monuments in the Mediterranean Coastel Environment: an analytical study of some samples from the Sanctuary of Demeter in Eleusis (Athens), in: <i>Proceedings of the 3rd International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Venice, 22-25 June 1994</i> , 275-285	Stein	Marine spray and polluted atmosphere as factors of damage to monuments in the Mediterranean Coastel Environment: an analytical study of some samples from the Sanctuary of Demeter in Eleusis (Athens)
Fichtner & Wolko & Venzmer 1994	R. Fichtner, F. Wolko, H. Venzmer, <i>Verfahrensüberblick zur Mauerwerksentsalzung</i> , in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 17, Heft 2, S. 53-58, 1994	Stein	Verfahrensüberblick zur Mauerwerksentsalzung
Friese & Protz 1994	P. Friese, A. Protz, Fassadenschäden durch Gipsbildung, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 5., S. 55-60, 1994	Stein	Fassadenschäden durch Gipsbildung
Friese & Protz 1994	P. Friese, A. Protz, Salzschäden an Ziegelmauerwerk und praktische Erfahrungen mit Entsalzungsverfahren, in: <i>Bautenschutz & Bausanierung</i> , 17. Jg. Nr. 8., S. 39-45, Nov. 1994	Stein	Fassadenschäden durch Gipsbildung
Hammer 1994	I. Hammer, EURO CARE – 2. Treffen zur Biozid-Anwendung auf Wandmalereien, Regensburg 10./11. Mai 1993, in: <i>Restauratorenblätter</i> 14 (zum Thema Papier und Graphik), Österr. Sektion des IIC (Hrsg.), Wien 1994, 184 f	Wand	Biozid-Anwendung auf Wandmalereien
Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH 1994	Untersuchungsberichte Deutscher Dom Berlin Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH, Industriestraße 2, 99427 Weimar, 1994,	Stein	Untersuchungsberichte Deutscher Dom Berlin Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH
Koller 1994	M. Koller, Learning from the history of preventive conservation, in: <i>Preventive Conservation. Practice, Theory and Research. Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 12.-16. September 1994</i> , 1-7		Learning from the history of preventive conservation
Matteini & Moles & Giovannoni 1994	M. Matteini, A. Moles, S. Giovannoni, Calcium oxalate as a protective mineral system for wall paintings: methodology and analyses, in: <i>The conservation of monuments in the Mediterranean basin, Proceedings of the 3rd International Symposium, Venice 1994</i> , 155-162	Wand	Calcium oxalate as a protective mineral system for wall paintings

Moropoulou & Zezza & Aires-Barros & Christaras & Fassina & Fitzner & Galan & Van Grieken & Kassoli-Fournaraki 1994	A. Moropoulou, F. Zezza, L. Aires-Barros, B. Christaras, V. Fassina, B. Fitzner, E. Galan, R. Van Grieken, A. Kassoli-Fournaraki, Marine spray and polluted atmosphere as factors of damage to monuments in the Mediterranean coastal environment - a preliminary approach to the case of Demeter Sanctuary in Eleusis, in: Proceedings of the 3rd International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Venice, 22-25 June 1994, 1994, 275-285	Stein	Marine spray and polluted atmosphere as factors of damage to monuments in the Mediterranean coastal environment - a preliminary approach to the case of Demeter Sanctuary in Eleusis
Neumann 1994	H.-H. Neumann, Aufbau, Ausbildung und Verbreitung schwarzer Gipskrusten, dünner schwarzer Schichten und Schalen sowie damit zusammenhängender Gefügeschäden an Bauwerken aus Naturstein, in: W. Dannecker (Hrsg.), Schriftenreihe Angewandte Analytik, Nr. 24, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Universität Hamburg, 1994	Stein	Aufbau, Ausbildung und Verbreitung schwarzer Gipskrusten, dünner schwarzer Schichten und Schalen sowie damit zusammenhängender Gefügeschäden an Bauwerken aus Naturstein
Price & Brimblecombe 1994	C. Price, P. Brimblecombe, Preventing salt damage in porous materials, in: Preventive conservation: practice, theory and research, Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress, 12.-16. September 1994, 90-93	Wand/Stein	Preventing Salt Damage in Porous Materials
Pühringer 1994	J. Pühringer, Zur Materialzerstörung durch Tausalzrostwechsel über die 3%ige NaCl-Lösung, in: Bautenschutz & Bausanierung, 1994, 8., S. 46-51	Stein	Zur Materialzerstörung durch Tausalzrostwechsel über die 3%ige NaCl-Lösung
Rombock 1994	U. Rombock, Salzsäuren an Naturstein- und Ziegel-mauerwerk, in: monudoc, Faktenauslese, IRB Verlag (Informationszentrum für Raum- und Bauforschung, Fraunhofer-Institut) 2. Aufl., Stuttgart 1994	Stein Ziegelmauerwerk	Salzsäuren an Naturstein- und Ziegelmauerwerk,
Rösch & Schwarz 1994	H. Rösch, H. J. Schwarz, Mineralogische und anorganisch-chemische Untersuchungen zur Klärung der Schadensursachen an romanischen Wandmalereien, in: Forschungsprojekt Wandmalerei-Schäden – Schlußbericht, Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 11 (1994), 104-114	Wand	Mineralogische und anorganisch-chemische Untersuchungen zur Klärung der Schadensursachen an romanischen Wandmalereien
Rösch & Schwarz 1994	H. Rösch, H. J. Schwarz, Salzsäuren in der Kirche Pilsum. – Hrsg. C. Segers-Glocke, BMFT-Forschungsprojekt Wandmalereischäden, in: Schlussber. interdisziplinäre Ergebnisse. CW Niemeyer Verlag, Hameln, S. 115-118	Wandmalerei	Salzsäuren in der Kirche Pilsum. – Hrsg. C. Segers-Glocke, BMFT-Forschungsprojekt Wandmalereischäden
Schwieger 1994	O. Schwieger, Salze in porösen Baustoffen. Referat im Fach Physik, Fachhochschule Hildesheim-Holzminde, Studiengang Restaurierung. Hildesheim: 1994	Wand/Stein	Salze in porösen Baustoffen
Spitznagel 1994	M. Spitznagel, Entfernung von Ammonium aus wässrigen Lösungen durch Ionenaustausch mit Zeolithen. Diss. Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen, Band 79. Heidelberg: 1994	Wand/Stein	Entfernung von Ammonium aus wässrigen Lösungen durch Ionenaustausch mit Zeolithen
Steiger 1994	M. Steiger, Crystallisation properties of mixed salt systems containing nitrate and chloride, in: EC Workshop: Research on the conservation of brick masonry monuments, Leuven Oct. 1994, Reprints	Stein Ziegelbau	Crystallisation properties of mixed salt systems containing nitrate and chloride
Steiger & Dannecker 1994	M. Steiger, W. Dannecker, Determination of wet and dry deposition of atmospheric pollutants on building stones by field exposure experiments, in: V. Fassina, H. Ott, F. Zezza (Hrsg.), The conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the 3 rd International Symposium, Venice 1994, 171-177	Stein	Determination of wet and dry deposition of atmospheric pollutants on building stones by field exposure experiments
Tinzl 1994	Christoph Tinzl, Removal of Salts from Lime Plaster by Means of Poulticing, unpubl. diploma dissertation Courtauld Institute of Art, Conservation of Wall Painting Department, London 1994	Putz	Removal of Salts from Lime Plaster by Means of Poulticing
Vogt & Goretzki & Henning 1994	R. Vogt, L. Goretzki, O. Henning, Der Einfluß von Salzen auf das hygrische Verhalten von Baustoffen, Teil 1: Hygroskopizität bauschädlicher Salze, in: Bautenschutz & Bausanierung, 1994, 2., S. 59-64	Stein	Hygroskopizität bauschädlicher Salze
Vogt & Goretzki & Henning 1994	R. Vogt, L. Goretzki, O. Henning, Der Einfluß von Salzen auf das hygrische Verhalten von Baustoffen, Teil 2: Sorptionsverhalten salzbelasteter Baustoffe, in: Bautenschutz & Bausanierung, 1994, 2., S. 34-39	Stein	Sorptionsverhalten salzbelasteter Baustoffe
Wittenburg 1994	C. Wittenburg, Trockene Schadgas- und Partikeldeposition auf verschiedene Sandstein-varietäten unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Einflußgrößen, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, 1994	Sandstein	Trockene Schadgas- und Partikeldeposition auf verschiedene Sandstein-varietäten unter besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Einflußgrößen
Wittenburg & Dannecker 1994	C. Wittenburg, W. Dannecker, Salt enrichment in building stones by deposition of sulfur and nitrogen containing species from urban atmospheres, The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, in: Proceedings of the 3 rd International Symposium, Venice 22-25 June 1994, 179-183	Stein	Salt enrichment in building stones by deposition of sulfur and nitrogen containing species from urban atmospheres
Zezza 1994	F. Zezza, Marine spray and polluted atmosphere as factors of damage to monuments in the Mediterranean coastal environment, in: Proceedings of the 3rd International Symposium on the Conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Venice 22-25 June 1994, 1994, 269-273,	Stein	Marine spray and polluted atmosphere as factors of damage to monuments in the Mediterranean coastal environment
Aires Barros & A. Mauricio 1995	L. Aires Barros, A. Mauricio, Forecast of spatio-temporal probability of salt efflorescence occurrences on monuments stone, Memórias n.4, Univ. do Porto, Porto 1995, 161-167	Stein	Forecast of spatio-temporal probability of salt efflorescence occurrences on monuments stone
Gaggi 1995	W. Gaggi, "Salzsäuren an Kulturdenkmälern. Die romanische Wandmalerei in der Kirche St. Georgen ob Judenburg". Diplomarbeit. Wien: 1995	Wandmalerei	Salzsäuren an Kulturdenkmälern. Die romanische Wandmalerei in der Kirche St. Georgen ob Judenburg

Hammer 1995	I. Hammer, Preservation of wall painting and other surfaces of architecture affected by soluble salts. Transdisciplinary remarks to interpretation of the physical system and the damage processes, in: Preservation and restoration of cultural heritage. Stone materials, Air pollution, Murals, Scientific research work and case studies, Contributions to the 1995 LCP Congress, Montreux 25.-29. Sept. 1995, im Druck	Wand	Preservation of wall painting and other surfaces of architecture affected by soluble salts.
Kellner 1995	B. Kellner, Die Wandmalereien der Steinbergkapelle im Dom zu Hildesheim. Restauratorische Untersuchungen, Vorschlag zur Konservierung/Restaurierung (unpubl. Dipl.arbeit, Fachhochschule Hildesheim, 1995)	Wand	Die Wandmalereien der Steinbergkapelle im Dom zu Hildesheim. Restauratorische Untersuchungen, Vorschlag zur Konservierung/Restaurierung
Matteini & Moles 1995	Matteini, Moles, Kritische Aspekte zur Anwendung von Bariumhydroxid, Literaturseminar Fachhochschule Köln: 1995	Wand	Kritische Aspekte zur Anwendung von Bariumhydroxid
Schwarz 1995	H.-J. Schwarz, Vorlesungsreihe an der Fachhochschule Hildesheim-Holzwinden, Unterrichtsmaterialien. Hildesheim: 1995	Wand	Wandmalereischäden durch Salze
Steiger & Dannecker 1995	M. Steiger, W. Dannecker, Hygroskopische Eigenschaften und Kristallisationsverhalten von Salzgemischen, in: R. Snethlage (Hrsg.), Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall-Steinkonservierung, Band 5-1993, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 115-128	Wand/Stein	Hygroskopische Eigenschaften und Kristallisationsverhalten von Salzgemischen
Zeza & Macri 1995	F. Zeza, F. Macri, Marine aerosol and stone decay, The Science of the Total Environment, 167, 1995, 123-143	Stein	Marine aerosol and stone decay
Arino & Saiz-Jimenez 1996	X. Arino, C. Saiz-Jimenez, A filamentous green alga from aquatic saline environment in mortars and stuccos from archaeological sites of southern Spain, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 233-238	Mörtel, Stuck	A filamentous green alga from aquatic saline environment in mortars and stuccos from archaeological sites of southern Spain
Arnold 1996	A. Arnold, Origin and behaviour of some salts in context of weathering on monuments, E. C. Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 131-139	Stein	Origin and behaviour of some salts in context of weathering on monuments
Arnold & Zehnder & Küng & Emmenegger 1996	A. Arnold, K. Zehnder, A. Küng; O. Emmenegger, Wandmalereizerfall. Salze und Raumklima in der Klosterkirche Müstair. in: Salzsäden an Wandmalereien, Arbeitshefte des Landesdenkmalamtes für Denkmalpflege, Band 78. München: 1996	Wandmalerei	Wandmalereizerfall. Salze und Raumklima in der Klosterkirche Müstair
Auger 1996	F. Auger, Simulated degradation of marbles under marine salt spray, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 201-203	Stein (Marmor)	Simulated degradation of marbles under marine salt spray
Aires Barros & Maurício 1996	L. Aires Barros, A. Maurício, Chronology, probability estimations and salt efflorescence occurrences forecasts on monumental building stones surfaces, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 497-511	Stein	Chronology, probability estimations and salt efflorescence occurrences forecasts on monumental building stones surfaces
Baatz & Paschinger 1996	W. Baatz, H. Paschinger, Salzausblühungen nach Kompressen mit Ammoniumcarbonat, eine Abschätzung, in: Restauratorenblätter, Band 16. zum Thema Fassadenmalerei. Klosterneuburg, Wien: Mayer u. Comp., 1996	Wandmalerei	Salzausblühungen nach Kompressen mit Ammoniumcarbonat, eine Abschätzung
Begonha & Sequeira Braga & Gomes Da Silva 1996	A. Begonha, M. A. Sequeira Braga, F. Gomes Da Silva, Rain water as a source of the soluble salts responsible for stone decay in the granitic monuments of Oporto and Braga – Portugal, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 481-487	Stein	Rain water as a source of the soluble salts responsible for stone decay in the granitic monuments of Oporto and Braga – Portugal
Behlen 1996	A. Behlen, Reaktive Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre – Konzentrationsbestimmung und trockene Deposition auf Natursteine, Dissertation Fachbereich Chemie, Universität Hamburg, 1996	Stein	Reaktive Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre – Konzentrationsbestimmung und trockene Deposition auf Natursteine
Behlen & Wittenburg & Steiger & Dannecker 1996	A. Behlen, C. Wittenburg, M. Steiger, W. Dannecker, Dry deposition of NO, NO ₂ , HONO, HNO ₃ and PAN on historical building stones, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Oct. 1996, Berlin, 377-386	Stein	Dry deposition of NO, NO ₂ , HONO, HNO ₃ and PAN on historical building stones
Bläuer Böhm 1996	Ch. Bläuer Böhm, Assessment of quantitative salt analysis by the water extraction method on lime mortars – Switzerland, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S.1505-1519	Wand/Mörtel	Assesment of quantitative salt analysis by the water extraction method on lime mortars
Benea 1996	M. Benea, Representative stones and weathering forms at Histria Fortress, Romania, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 205-216	Stein	Representative stones and weathering forms at Histria Fortress, Romania
Camuffo 1996	D. Camuffo, The role of climate on stone weathering, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 155-165	Stein	The role of climate on stone weathering, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments

Chabas & Lefevre	A. Chabas, R.-A. Lefevre, Sea-salt crystallizations from atmospheric aerosols at Delos archeological site (Cyclades Islands, Greece), in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 191-200	Stein	Sea-salt crystallizations from atmospheric aerosols at Delos archeological site (Cyclades Islands, Greece)
Fassina 1996	V. Fassina, Neof ormation decay products on the monument 's surface due to marine spray and polluted atmosphere in relation to indoor and outdoor climate, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 37-53	Stein	Neof ormation decay products on the monument 's surface due to marine spray and polluted atmosphere in relation to indoor and outdoor climate
Fassina & Arbizzani & Naccari 1996	V. Fassina, R. Arbizzani, A. Naccari, Salt efflorescences on the marble slabs of S. Maria die Miracoli church : a survey on their origin and the methodology of their removal, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), 523-534	Stein	Salt efflorescences on the marble slabs of S. Maria die Miracoli church : a survey on their origin and the methodology of their removal
Fassina & Mignucci & Naccari & Stevan & Cassar & Torpiano 1996	V. Fassina, A. Mignucci, A. Naccari, A. Stevan, J. Cassar, A. Torpiano, Investigation on the moisture and salt migration in the wall masonry and on the presence of salt efflorescences on stone surface in the Church of Sta. Marija Ta 'Cwerra at Siggiewi (Malta), in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 291-308		Investigation on the moisture and salt migration in the wall masonry and on the presence of salt efflorescences on stone surface in the Church of Sta. Marija Ta 'Cwerra at Siggiewi (Malta)
Fitzner & Heinrichs & Volker 1996	B. Fitzner, K. Heinrichs, M. Volker, Model for salt weathering at Maltese Globigerina Limestones, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996	Stein (Kalkstein)	Model for salt weathering at Maltese Globigerina Limestones
FMPA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg) 1996	FMPA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg), Abteilung 3, Referat 32: Oedheim, St. Mauritius, hier: Untersuchung einer nachträglich eingebauten Horizontalsperre mit Bitumeninjektage. Untersuchungsbericht vom 22.07.1996, 1996	Stein (Mauerwerk)	Horizontalsperre
FMPA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg) 1996	FMPA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg), Abteilung 3, Referat 32: Oedheim, Martinskapelle Kirchheim/Ries, hier: Untersuchung von Ausblühungen und Salzeffekten an der Chorinnenwand. Untersuchungsbericht vom 08.08.1996, 1996	Stein (Mauerwerk)	Horizontalsperre
Gabriel & Inkpen 1996	G. Gabriel, R. J. Inkpen, The nature of decay of Monk 's Park limestone under simulated salt weathering, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 573-578	Stein	The nature of decay of Monk 's Park limestone under simulated salt weathering
Grotesk 1996	L. Grotesk (Hrsg.), Verfahren zum Entsalzen von Naturstein, Mauerwerk und Putz, WTA-Schriftenreihe, Heft 8, Mit Beiträgen von: A. Buchwald, R. Burkhardt, G. Diglas, H. Ettl, L. Grotesk, G. Grasseger, F. Grüner, G. Hilbert, J. Schoonbrood, H. Schuh, H. Siedel, J. Weber, F. H. Wittmann, Aedificatio Verlag GmbH, 1996	Stein, Mauerwerk, Putz	Verfahren zum Entsalzen von Naturstein, Mauerwerk und Putz
Grossi & Esbert & Suárez del Río 1996	C. M. Grossi, R. M. Esbert, L. M. Suárez del Río, The application of the acoustic emission technique to stone decay by sodium sulphate in laboratory tests, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 217-224	Stein	The application of the acoustic emission technique to stone decay by sodium sulphate in laboratory tests
Klemm & Siedel 1996	W. Klemm, H. Siedel, Sources of sulphate salt efflorescences at historical monuments – a geochemical study from Freiberg, Saxony	Stein	Sources of sulphate salt efflorescences at historical monuments – a geochemical study from Freiberg
Lammel & Metzsig 1996	G. Lammel, G. Metzsig, Pollutant fluxes onto the facades of a historical monument, Atmos. Environ. (submitted)		Pollutant fluxes onto the facades of a historical monument, Atmos. Environ
Laue & Bläuer Böhm & Jeannette 1996	S. Laue, C. Bläuer Böhm, D. Jeannette, Saltweathering and porosity – Examples from the Crypt of St. Maria im Kapitol, Cologne	Stein	Saltweathering and porosity – Examples from the Crypt of St. Maria im Kapitol, Cologne
Mauricio & Aires Barros & Fassina & Cassar & Torpiano 1996	A. Mauricio, L. Aires Barros, V. Fassina, J. Cassar A. Torpiano, Multivariate data analysis applied to salt efflorescences occurring at Sta. Marija Ta 'Cwerra Church (Malta), in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 393-402		Multivariate data analysis applied to salt efflorescences occurring at Sta. Marija Ta 'Cwerra Church (Malta)
Palomo & Puertas & Blanco 1996	A. Palomo, F. Puertas, M.T. Blanco, Mortars for restoration. Decay due to salt crystallization, Madrid, - in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 1547-1571	Wand	Mortars for restoration. Decay due to salt crystallization

Paschinger 1996	H. Paschinger, Salzprobleme bei Objekten aus dolomitischem Kalk. Magnesiumsalze. in: Salzsäuren an Wandmalereien, Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege, Band 78. München: 1996	Wand/ Mauerwerk	Salzprobleme bei Objekten aus dolomitischem Kalk. Magnesiumsalze
Price 1996	C. A. Price, An expert Chemical model for determining the environmental conditions needed to prevent salt damage in porous materials, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 141-145	Wand/Stein	An expert chemical model for determining the environmental conditions needed to prevent salt damage in porous materials
Pühringer 1996	J. Pühringer, Deterioration of materials by hydraulic pressure in salt/watersystems – An outline model, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 545-556	Stein	Deterioration of materials by hydraulic pressure in salt/watersystems – An outline model
Rombock 1996	U. Rombock (Hrsg.), Salzsäuren an Malereien, in: monodoc, Faktenauslese Nr. 17, IRB Verlag (Informationszentrum für Raum- und Bau-forschung, Fraunhofer-Institut) 2. Aufl., Stuttgart 1996,	Wand	Salzsäuren an Malereien
Silva & Rivas & Prieto 1996	B. Silvas, T. Rivas, B. Prieto, Relation between type of soluble salts and decay forms in granitic coastal churches in Galicia (NW Spain), in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanism and Effects of Salts on the Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, March 25-27, 1996, Bari, 181-190	Stein (Granit)	Relation between type of soluble salts and decay forms in granitic coastal churches in Galicia (NW Spain)
Skoulikidis & Kalifatidou & Tsakona & Evangelatou 1996	Th. Skoulikidis, E. Kalifatidou, K. Tsakona, M. Evangelatou, Salt spray tests on untreated and treated marble and stones, in: Proceedings of the European Commission Research Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 87-98	Stein (Marmor)	Salt spray tests on untreated and treated marble and stones
Steiger 1996	M. Steiger, Distribution of salt mixtures in a sandstone monument: sources, transport and crystallization properties, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanism and Effects of Salts on the Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, March 1996, Bari, Italy, 239-246	Sandstein	Distribution of salt mixtures in a sandstone monument: sources, transport and crystallization properties
Steiger & Dannecker 1996	M. Steiger, W. Dannecker, Die Bedingungen für die Kristallisation verschiedener Salzhydrate am Beispiel Thenardit/Mirabilit, in: R. Sneath (Hrsg.), Jahresberichte aus dem Forschungs-programm Steinerfall-Steinkonservierung, Band 6, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Im Druck	Wand/Stein	Die Bedingungen für die Kristallisation verschiedener Salzhydrate am Beispiel Thenardit/Mirabilit
Steiger & Zeunert 1996	M. Steiger, A. Zeunert, Crystallization properties of salt mixtures: comparison of experimental results and model calculations, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 535-544	Stein	Crystallization properties of salt mixtures; comparison of experimental results and model calculations
Viles & Moses 1996	H. A. Viles, C. A. Moses, SEM based studies of the combined effects of salt and biological weathering on calcareous building stones, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 557-561	Stein	SEM based studies of the combined effects of salt and biological weathering on calcareous building stones
Vicente 1996	M. A. Vicente, The role of salt crystallization in the degradation processes of granite monuments, in: Proceedings of the European Commission Research Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, 25-27 March 1996, Bari 1996, 147-154	Stein (Granit)	The role of salt crystallization in the degradation processes of granite monuments
Vitina & Igaune & Krage & Baumanis 1996	I. Vitina, S. Igaune, L. Krage, O. Baumanis, Problems of soluble salts in monuments of Latvia, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), 477-480	Stein	Problems of soluble salts in monuments of Latvia
Weber & Leitner & Gaggli & Szambelan 1996	J. Weber, H. Leitner, W. Gaggli, R. Szambelan, Crystallization of sulphate salts induced by selective salt extraction by poultices: results from a case study, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, March 25-27, 1996, Bari, 167-179	Wand	Crystallization of sulphate salts induced by selective salt extraction by poultices: results from a case study
Wessman 1996	L. Wessman, Studies of salt-frost attack on natural stone, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 563-571	Stein	Studies of salt-frost attack on natural stone
Wittenburg & Wendler & Steiger 1996	C. Wittenburg, E. Wendler, M. Steiger, Terracotta at Schloß Schwerin, different desalination treatments for the application of stone consolidating agents, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), 1717-1726	Terracotta	Terracotta at Schloß Schwerin, different desalination treatments for the application of stone consolidating agents
Zehnder 1996	K. Zehnder, Gypsum efflorescence in the zone of rising damp. Monitoring of slow decay processes caused by crystallizing salts on wall paintings, in: Proceedings of the 8 th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, 30. Sept.-4. Oct. 1996, J. Riederer (Hrsg.), S. 1669-1678	Wandmalerei	Gypsum efflorescence in the zone of rising damp. Monitoring of slow decay processes caused by crystallizing salts on wall paintings
Zeza (Scientific Editor) 1996	F. Zeza, The E. C. Project, Marine spray and polluted atmosphere of damage to monuments in the Mediterranean coastal environment, objectives and results, in: Proceedings of the European Commission Research Workshop Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environments, March 25-27, 1996, Bari (Italy), 1-19	Wand/Stein	Marine spray and polluted atmosphere of damage to monuments in the Mediterranean coastal environment, objectives and results

Behlen & Steiger & Dannecker 1997	A. Behlen, M. Steiger, W. Dannecker, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Universität Hamburg, Germany, Quantification of the salt input by wet and dry deposition on a vertical masonry, in: Proceedings of the 4 th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodos, 6-11 May 1997, Volume 2, pp. 237-246, A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias, I. Papa-christodoulou (Hrsg.), Technical Chamber of Greece, Athens	Stein (Mauerwerk)	Quantification of the salt input by wet and dry Ddposition on a vertical masonry
Grell 1997	S. Grell, Restauratorisches Analysesystem für die Kontrolle von Sulfatentfernungen in der Steinrestaurierung untersucht an den Reinigungsmethoden mit Ammoniumcarbonat und Ionenaustauscherharz (unpubl. Dipl.arbeit, Fachhochschule Hildseheim, 1997)	Stein	Restauratorisches Analysesystem für die Kontrolle von Sulfatentfernungen in der Steinrestaurierung untersucht an den Reinigungsmethoden mit Ammoniumcarbonat und Ionenaustauscherharz
Hoeck 1997	T. Hoeck, Abdichten einer Unterführung durch Vergelungsinjektion, in: Bautenschutz & Bausanierung 3, 1997, 32-37	Stein	Abdichten einer Unterführung durch Vergelungsinjektion
Schwieger 1997	O. Schwieger, Konservierungskonzept für die restaurierten romanischen Wandmalereien in der Pfarrkirche St. Georgen ob Judenburg unter besonderer Berücksichtigung der Salzproblematik, (unpubl. Dipl.arbeit, Fachhochschule Holzminden, 1997)	Wand	Konservierungskonzept für die restaurierten romanischen Wandmalereien in der Pfarrkirche St. Georgen ob Judenburg unter besonderer Berücksichtigung der Salzproblematik
Steiger & Behlen & Neumann & Willers & Wittenburg 1997	M. Steiger, A. Behlen, H.-H. Neumann, U. Willers, C. Wittenburg, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Universität Hamburg, Germany, Sea Salt in Historic Buildings: Deposition, Transport and Accumulation, in: Proceedings of the 4 th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodos, 6-11 May 1997, Volume 1, pp. 325-335, A. Moropoulou, F. Zezza, E. Kollias, I. Papa-christodoulou (Hrsg.), Technical Chamber of Greece, Athens	Stein/Wand	Sea Salt in Historic Buildings: Deposition, Transport and Accumulation
Henes-Klaiber 1998	U. Henes-Klaiber, Feuchteschäden und Methoden zu ihrer Beseitigung, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg, Nachrichten des Landesdenkmalamtes, 27. Jg., 1/1998	Mauerwerk	Feuchteschäden und Methoden zu ihrer Beseitigung
Weber 1999	H. Weber, Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk, 3. Aufl., Renningen 1999	Mauerwerk	Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk
Venzmer 1999	H. Venzmer, Mauerwerk-Entsalzung und Entfeuchtung, in: Feuchte- und Altbausanierung, Heft 10, Berlin 1999	Mauerwerk	Mauerwerk – Entsalzung und Entfeuchtung