



Ronald Adami, Peter Friese, Andreas Protz

Beseitigung von Verfärbungen auf Natursteinoberflächen

/Einführung und Problemstellung/ An Natursteinoberflächen treten häufig Verfärbungen auf, die den ästhetischen Gesamteindruck eines Bau- oder Kunstwerkes stören. Sie können witterungsbedingt sein, wie z.B. die Bildung von dunklen Gipskrusten. Überwiegend handelt es sich aber um Eisen-, Mangan- oder Kupferverbindungen unterschiedlicher Herkunft, die in den oberflächennahen Schichten angereichert wurden. Bisweilen können auch Reinigungsmaßnahmen mit ungeeigneten Materialien Ursache von Natursteinverfärbungen sein. An hellen Oberflächen genügen oft geringe Substanzmengen, um deutlich sichtbare Flecken zu bilden.

In vielen Fällen lassen sich die Verfärbungen mit Pasten oder Kompressen, die reaktive Bestandteile enthalten, entfernen.

Die Vielfalt der Natursteine und die verschiedenen chemischen Möglichkeiten erfordern jedoch gründliche Voruntersuchungen zur Ursache der Verfärbungen sowie eine sorgfältige Zusammenstellung von Trägermedium (Paste oder Komresse) und den reaktiven Bestandteilen, um die Behandlung an die jeweilige Aufgabenstellung anpassen zu können. Oft sind jedoch „individuelle“ Lösungen für bestimmte Problemfälle zu suchen. Dies erfordert in der Regel einen gewissen Entwicklungsaufwand und entsprechende Vorversuche im Labor. Meistens kann auch nicht darauf verzichtet werden, Musterflächen an den geschädigten Objekten anzulegen, an denen die erarbeiteten Rezepturen und die notwendigen Arbeitsschritte dann getestet werden.

Die reaktiven Bestandteile gehen mit den meist wasserunlöslichen Verbindungen, die die Verfärbungen verursachen, chemische Reaktionen ein, die zu farblosen und/oder zu wasserlöslichen Reaktionsprodukten führen. Die wasserlöslichen Anteile müssen nachfolgend weitgehend aus dem Stein entfernt werden, um mögliche Folgeschäden zu vermeiden. Da die reaktiven Bestandteile in der Regel nicht in der stöchiometrisch notwendigen Menge, sondern in einem Überschuss eingesetzt werden müssen, ist es von großem Vorteil, wenn Substanzen wie Wasserstoffperoxid, Ammoniak, Ammoniumcarbonat oder Ammoniumhydrogencarbonat als reaktive Bestandteile verwendet werden, da sich diese Verbindungen nach der Behandlung rückstandsfrei zu gasförmigen Produkten zersetzen.

Das chemisch inerte Trägermaterial muss verschiedenen Anforderungen genügen, die von dem jeweiligen Anwendungsfall vorgegeben werden. Die gewünschten Eigenschaften lassen sich oft (aber nicht immer!) über unterschiedliche Mischungsverhältnisse verschiedener Materialien wie Tone, pyrogene Kieselsäure, Sand verschiedener Körnungen, Zelluloseflocken, organische Polymere, Superabsorber u. a. einstellen. So muss z. B. die Paste oder die Kompressen in vielen Fällen nach ausreichender Einwirkzeit an der Luft abtrocknen und dabei Reaktionsprodukte und möglicherweise auch andere lösliche Salze aufnehmen. In solchen Fällen dürfen keine Schwindrisse gebildet werden; das Trägermedium muss bis zur vollständigen Abtrocknung fest an der Oberfläche haften und dabei einen guten kapillaren Kontakt zum meist porösen Stein haben. Zu berücksichtigen ist ferner, dass das Trägermedium nach der Behandlung wieder entfernt werden muss. An manchen Objekten mag erlaubt sein, Reste von Pasten durch Hochdruckwasserstrahlen zu entfernen. Empfindliche Oberflächen können aber nur mit Trägermaterialien belegt werden, die sich nach der Abtrocknung durch vorsichtiges Absaugen, Abbürsten oder Abpinseln leicht entfernen lassen.

Die bisherigen Ergebnisse beim Einsatz von Pasten oder Kompressen zur Entfernung von Verfärbungen auf mineralischen Untergründen lassen sich nicht so verallgemeinern, dass eine breitere Anwendung ohne vorbereitende Laboruntersuchungen und Musterflächen möglich ist. Welche Varianten zur Behandlung von verfärbten Natursteinoberflächen es gibt, soll nachfolgend an einigen Beispielen vorgestellt werden.

/ Beseitigung von Verfärbungen durch Eisenoxide / Beispiele: Relieffries der Alten Nationalgalerie und eine Fassadenfläche vom Bodemuseum / An fast allen Bauwerken der inzwischen zum Weltkulturerbe gehörenden Museumsinsel in Berlin waren nach 1990 umfangreiche Instandsetzungsarbeiten notwendig, die vermutlich noch mehr als ein Jahrzehnt andauern werden. Eines der ersten Gebäude, das nach den Rekonstruktionsarbeiten wieder der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurde, ist

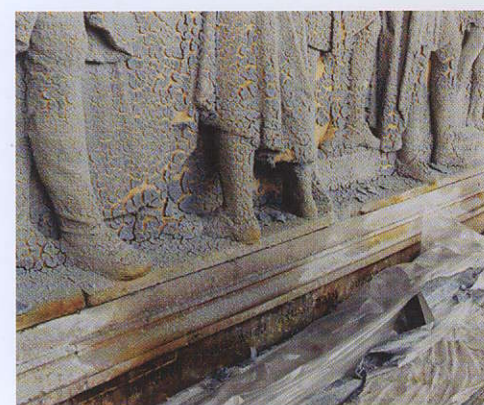
die von August Stüler erbaute „Alte Nationalgalerie“.¹ Hier ergab sich u. a. folgendes Problem: Oberhalb der Freitreppe befindet sich ein Relieffries aus sehr feinporigem, cremefarbenem Kalkstein (Jaune Mouton), auf dem sich durch Umwelteinflüsse eine dunkle Gipskruste gebildet hatte. Nach den Wünschen der Museumsleitung sollte dieser Relieffries wieder sein ursprüngliches Aussehen erhalten. Es wurde zunächst versucht, die Gipskruste mit einer nahezu gesättigten (!) Lösung von Ammoniumcarbonat zu entfernen, mit dem Ergebnis, dass nach der Behandlung braune Flecken auf dem Kalkstein zurückblieben. Versuche der Restauratoren, diese Flecken mit verschiedenen Mitteln und Methoden zu beseitigen, schlugen fehl. Lediglich mit einer Laserreinigung ließen sich die Flecken etwas aufhellen, doch wurde dabei die Kalksteinoberfläche aufgeraut. Voruntersuchungen hatten ergeben, dass die Verfärbungen, wie zu erwarten war, durch angereicherte Eisen(III)oxide verursacht wurden. Es konnte nicht genau ermittelt werden, ob die Eisenverbindungen aus dem Stein herausgelöst oder als Deposit abgelagert wurden.

Eine der Möglichkeiten, Verbindungen wie $\text{FeO}(\text{OH})$ in Lösung zu bringen, ist die Bildung von Eisen(II)hydrogencarbonat (FeHCO_3). Dazu muss das dreiwertige Eisen (Fe^{+++}) zum zweiwertigen Eisen (Fe^{++}) reduziert werden. Es wurde deshalb eine Paste konzipiert, die neben Ammoniumhydrogencarbonat ein starkes Reduktionsmittel enthält. Als Reduktionsmittel erwies sich Aluminiumpulver als gut geeignet, da es unter den gegebenen Bedingungen keine löslichen Verbindungen bildet, die in den Stein einwandern könnten.

Die Löslichkeit von Eisen(II)hydrogencarbonat in Wasser ist nicht sehr hoch und es war von vornherein zu erwarten, dass die Verteilung der angereicherten Eisensalze in tiefere Schichten des Kalksteines und in die Paste mehrere Tage in Anspruch nehmen würde. In dieser Zeit mussten die behandelten Flächen des Kalksteins ausreichend feucht bleiben. Um dies zu gewährleisten, wurde der Kalksteinfries vor dem Auftrag der Paste mit destilliertem Wasser vorgewässert und der Paste ein wasserrückhaltendes Polymer zugesetzt. Eine zu schnelle Verdunstung von Wasser an der Pastenoberfläche wurde durch Abdecken mit einer

Polyäthylenfolie verhindert. Die Einwirkzeit der Paste lag zwischen drei und fünf Tagen. Anschließend wurde die Folie abgenommen und der Paste Gelegenheit gegeben abzutrocknen. Der größte Teil der Paste fiel beim Austrocknen ab, verbleibende Reste konnten mit einer weichen Bürste entfernt werden. Eine Nachreinigung des Relieffrieses war nicht notwendig. Abb. 110 zeigt die

110 Der Relieffries an der Alten Nationalgalerie
 a Bräunliche Verfärbungen nach der Behandlung mit konzentrierten Ammoniumcarbonatlösungen
 b Eine mit Paste belegte Fläche in der Phase der Abtrocknung
 c Der Relieffries nach Abnahme der Paste





111 Bodemuseum in Berlin

verschiedenen Stadien der Behandlung und das Ergebnis.

Ein ähnliches Problem war an einem Abschnitt der Westfassade des Bodemuseums auf der Berliner Museumsinsel zu lösen. Bei einem Rohrbruch während der Instandsetzungsarbeiten wurde hier das Außenmauerwerk extrem stark durchfeuchtet. Im Verlauf der nachfolgenden langsamen Abtrocknung wurde beobachtet, dass sich die belastete Fassadenfläche aus Rackwitzer Sandstein zunehmend braun verfärbte. Dies hätte vermutlich verhindert werden können, wenn man sofort eine geeignete Kompresse aufgetragen hätte.

Nach der Abtrocknung wurde dann erfolglos versucht, die verfärbten Stellen durch vorsichtiges Strahlen mit einem weichen Strahlmittel zu reinigen. Die färbenden Eisenverbindungen waren in der äußeren Schicht bis zu 2 mm tief angereichert. Gleichzeitig konnten in dieser Schicht stark erhöhte Anteile leicht löslicher Salze (überwiegend Sulfate) und Gips nachgewiesen werden. Da es nicht möglich war, den Stein durch Sandstrahlen ca. 2 mm zurückzuarbeiten, ohne die Oberflächenstruktur grob zu verändern, musste für diesen Anwendungsfall eine Paste konzipiert werden, die zwar die oben beschriebenen reaktiven

Bestandteile (Ammoniumhydrogencarbonat und Aluminiumpulver) enthielt, beim Abtrocknen aber keine Schwindrisse bildete und nicht vorzeitig von den zu behandelnden senkrechten Flächen abfiel. Die Eisenverbindungen und die löslichen Salze konnten dann bei der Austrocknung zu einem großen Teil in die Paste einwandern und mit dieser entfernt werden. Auch hier wurden zunächst Laborversuche durchgeführt und kleine Musterflächen mit verschiedenen Pastenzusammensetzungen angelegt.

Für die großflächige Behandlung wurde der Sandstein vorgewässert, die Paste aufgespritzt und mit PE-Folie abgedeckt. Nach einer Standzeit von etwa einer Woche wurde die Folie entfernt und die Paste konnte langsam abtrocknen. Das vollständige Entfernen der Paste war allein mit Bürsten und Absaugen nicht möglich, da die Sandsteinoberfläche sehr rau ist und Reste der Paste in Poren verblieben. Deshalb war es notwendig, die gesamte behandelte Fläche abschließend durch Strahlen mit einem weichen Strahlmittel zu reinigen. Die durch den Rohrbruch verursachten Verfärbungen und der Zustand etwa sechs Monate nach der Behandlung sind in der Abb. 112 dargestellt. Der überwiegende Teil der behandelten Fläche zeigte nach den sechs Monaten keine Veränderung. Lediglich im Bereich einer Fuge zwischen zwei Bogensteinen an der Oberseite des



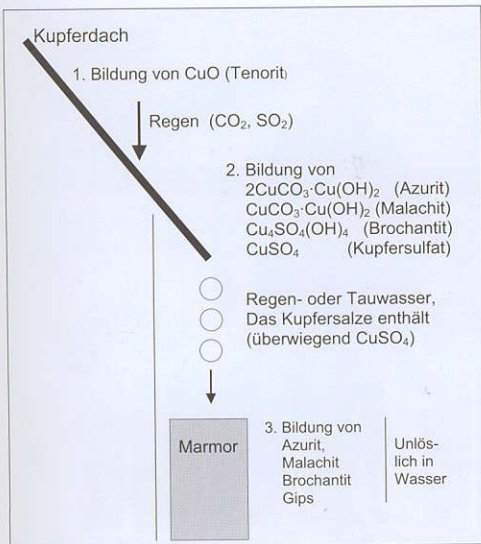
112 Fassadenfläche am Bodemuseum, die durch einen Rohrbruch stark verfärbt wurde

a Die Fassadenfläche vor der Behandlung
b Die Fassadenfläche sechs Monate nach der Behandlung. An einer kleinen Stelle im oberen Bereich des Fensters sind erneut Verfärbungen aufgetreten.

Fensters trat langsam wieder eine bräunliche Verfärbung auf. Leider war diese Stelle nicht mehr zugänglich und es bestand keine Möglichkeit, die Ursachen zu untersuchen. Es kann aber angenommen werden, dass hier durch Schlagregen Wasser in die Fuge eindringen konnte (Die Fassadenfläche liegt an der Westseite!) und erneut Eisenverbindungen an die Oberfläche transportiert wurden.

/ Beseitigung von Verfärbungen auf Marmor- oder Kalksteinoberflächen durch Kupfersalze /

Wenn sich calcithaltige Natursteine wie Marmor oder Kalkstein im Ablaufbereich von Regen- oder Tauwasser befinden, das vorher über Bronzeplastiken oder Kupferdächer geflossen ist, kommt es nach einiger Zeit zu grünen Verfärbungen durch wasserunlösliche Kupfersalze (Schematische Darstellung siehe Abb. 113). Diese Kupferverbindungen verursachen keine Strukturschäden an den Steinen, da sie meist nur in geringen Konzentrationen vorliegen. Es gibt aber Fälle, bei denen der ästhetische Gesamteindruck eines Bau-

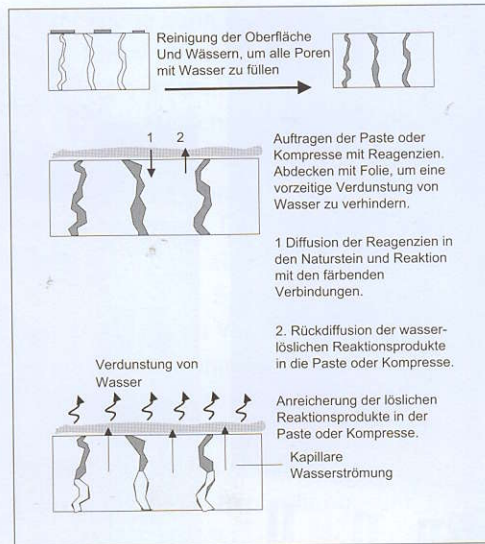


113 Schematische Darstellung zur Bildung von Verfärbungen, die durch Kupferverbindungen verursacht werden

werks oder eines Denkmals durch die Verfärbungen gestört wird und es wünschenswert wäre, die Verfärbungen zu beseitigen. Unumgänglich ist es, vorhandene Kupferverbindungen aus Marmorsteinen zu entfernen, wenn an diesen zur Bestandserhaltung eine Acrylharzvolltränkung durchgeführt werden muss. Durch die Vorbehandlung, die ein Stein bei der Acrylharzvolltränkung erfährt, können die farbgebenden Bestandteile, die an besonders exponierten Bereichen des Steins mitunter bis zu 1 cm tief eingedrungen sind, an die Steinoberfläche gelangen und den Stein dann unansehnlich grau-grün verfärben. Darüber hinaus können durch zu hohe Kupferkonzentrationen die Tränkflüssigkeiten ebenfalls verfärbt und damit unbrauchbar werden.

Im Rahmen eines durch die DBU geförderten Projekts, wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die Kupferverbindungen aus calcitischen Materialien entfernt werden können. Im unten genannten Artikel 2 wurde bereits die Anwendung dieses Verfahrens auf die etwa 120 Einzelteile des von Siemering geschaffenen Komponisten-denkmals, das 1904 im Berliner Tiergarten aufgestellt wurde, beschrieben.

Die im Marmor gebildeten wasserunlöslichen Kupferverbindungen – Azurit, Malachit, Brochantit – müssen, wenn sie entfernt werden sollen, in eine wasserlösliche Verbindung überführt werden. Dies ist



114 Schematische Darstellung zur Entfernung von färbenden Kupferverbindungen aus calcitischen Materialien

möglich über die Bildung von wasserlöslichen Kupfertetraminkomplexen. Diese bilden sich, wenn die genannten Verbindungen mit Ammoniak, Ammoniumhydrogencarbonat oder Ammoniumcarbonat umgesetzt werden. Die wasserlöslichen Komplexverbindungen können dann über Diffusion oder eine kapillare Wasserströmung aus dem Marmor in ein anderes Medium – z. B. in eine aufgelegte Kompressen oder Paste – transportiert werden. Abb. 114 zeigt eine schematische Darstellung zu den notwendigen Arbeitsschritten bei der Entfernung von Kupferverbindungen aus calcitischen Materialien.

Ein anderes Beispiel für die Anwendung der Paste ist das von Andreas Schlüter geschaffene Reiterdenkmal des Großen Kurfürsten², das Anfang des 18. Jahrhunderts auf der Langen Brücke in Berlin aufgestellt und nach dem Zweiten Weltkrieg in den Ehrenhof des Schlosses Charlottenburg umgesetzt wurde. Der aus Marmor bestehende Sockel war durch grüne Laufspuren und dunkle Gipskrusten unansehnlich geworden (Abb. 115) und sollte im Rahmen einer Grundinstandsetzung wieder ein ästhetisch vertretbares Aussehen erhalten. Zur Instandsetzung des Sockels wurden die Bronze- (Sklaven, Wappenkartusche und Bronzereliefs) abgebaut. Der gesamte Sockel wurde dann vorgewässert und mit der beschriebenen Paste³ (Schichtdicke 0,5 bis 1 cm) belegt. Durch eine PE-Folie wurde

die Paste vor zu schneller Austrocknung geschützt. An den Stellen mit besonders hohen Anteilen an Kupferverbindungen (z. B. an den Bodenplatten) verfärbte sich die Paste bereits nach 30 Minuten tiefblau (Kupfertetraminkomplex). Nach einer Standzeit von vier Tagen wurde die Folie entfernt und nach weiteren sechs Tagen war die Paste so weit abgetrocknet, dass sie mechanisch durch Abbürsten und Absaugen entfernt werden konnte. Etwa 50 % der verfärbten Flächen mussten in der gleichen Weise mehrfach behandelt werden, um die Kupfersalze nahezu vollständig zu entfernen. Dabei stellte sich heraus, dass einige kleinere Bereiche nach wiederholtem Auftragen von Paste keinerlei Veränderungen mehr zeigten. Da es nicht möglich war, Bohrkerne für Untersuchungen zu entnehmen, kann nur vermutet werden, dass die Kupferverbindungen im Verlauf der fast dreihundertjährigen Standzeit des Denkmals tief in den Marmor eingedrungen sind und möglicherweise durch Rekrystallisationsvorgänge in Calcit „eingekapselt“ wurden. Abb. 117 vermittelt einen Eindruck von den Instandsetzungsarbeiten des Sockels und dem Ergebnis der durchgeführten Maßnahmen.

/ Entfernung von Gipschichten auf mineralischen Fassungen und Wandmalereien mit ammoniumcarbonathaltigen Pasten / Lösungen von Ammoniumcarbonat in Wasser werden seit langem genutzt, um Gipskrusten, die sich durch atmosphärische Einflüsse auf calcitischen Untergründen gebildet haben, zu entfernen.⁴ Auch hier ist es oft sinnvoll, das Ammoniumcarbonat als reaktiven Bestandteil in einer Paste oder einer Kompressen einzusetzen. Das nachfolgende Beispiel soll zeigen, dass auch sehr empfindliche Oberflächen, wie Fassungen und Wandmalereien auf diese Weise von störenden Vergipsungen befreit werden können.

Die Herz-Jesu-Kirche in Berlin-Prenzlauer Berg ist bekannt für ihre Wandmalereien, die 1911 von dem Kirchenmaler Friedrich Stummel in Keimischer Mineralfarbentechnik ausgeführt wurden. Jahrzehntelange Schäden am Dach hatten dazu geführt, dass an zahlreichen Stellen durch Feuchtigkeitseinflüsse Wandmalereien und Putz abblätterten. Einige Bereiche im



115 Das Reiterdenkmal des Großen Kurfürsten im Ehrenhof des Schlosses Charlottenburg in Berlin vor der Instandsetzung
 a Gesamtansicht
 b Detailansicht des Sockels

Gewölbe waren vermutlich längere Zeit nur mäßig durchfeuchtet, d. h. die Wandmale-
 reien waren noch erhalten, doch hatte sich
 hier – bedingt durch den hohen SO_2 -Gehalt
 der Luft – eine deutlich erkennbare Vergip-

sung der Malschicht ergeben. Abgesehen
 davon, dass eine Überarbeitung vergipster
 Flächen mit Wasserglasfarben große Pro-
 bleme bereiten kann, sollte bei der gegen-
 wärtig stattfindenden Restaurierung auch
 an allen Stellen die originale Farbigkeit
 wiederhergestellt werden.

Durch Gipsanreicherungen verursachte
 Verfärbungen haben meist ein dunkles
 Aussehen. Dies liegt daran, dass die nadel-
 förmigen Gipskristalle Staubpartikel „fest-
 halten“ und bei der Kristallbildung teilwei-
 se inkrustieren. In der restauratorischen
 Praxis werden zum Entfernen von Gips-
 krusten oft Lösungen von Hydrogencarbon-
 at in Wasser eingesetzt. Dabei werden die
 Lösungen aufgesprüht und der Überschuss
 abgetupft. Dieses Vorgehen ist zeitaufwen-
 dig und birgt die Gefahr, dass bei stark sau-
 genden Untergründen zu große Mengen an
 Ammoniumhydrogencarbonat in tieferen
 Schichten angereichert werden und sich
 dort nur langsam zersetzen. Sehr viel güns-
 tiger ist es, das Ammoniumhydrogencarbo-
 nat als reaktiven Bestandteil in einer Paste

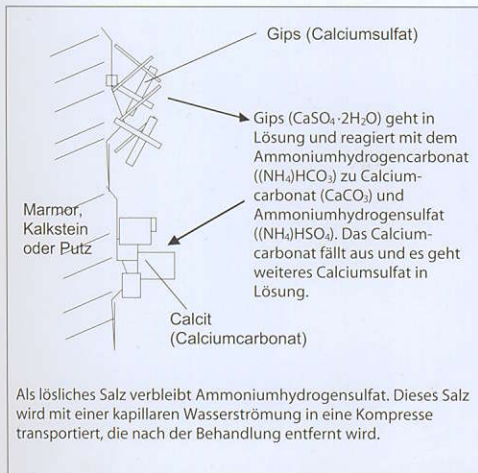
116 Der Große Kurfürst nach der Restaurierung

einzusetzen. Es ist dann ausreichend, mit
 einer Ammoniumhydrogencarbonatkonzen-
 tration von 2 bis 3 Ma.-% zu arbeiten.

Der Mechanismus der Umwandlung von
 Gips in Calciumcarbonat ist in Abb. 118

117 Der Sockel des Reiterdenkmals während der
 Behandlung mit einer Paste zur Entfernung der
 Kupferverbindungen, Phase der Abtrocknung





118 Schematische Darstellung der Gipsumwandlung in Calciumcarbonat

schematisch dargestellt. Während sich überschüssiges Ammoniumhydrogencarbonat langsam in gasförmige Bestandteile (Kohlendioxid und Ammoniak) zersetzt, verbleibt das gebildete Ammoniumsulfat im System. In der Regel ist die Gesamtkonzentration jedoch gering, so dass keine Schädigungen zu erwarten sind. Es ist aber vorteilhaft, wenn möglichst viel des gebildeten Ammoniumsulfats bei der Abtrocknung in der Kompressen angereichert wird. Dazu muss bis zur Austrocknung ein möglichst guter kapillarer Kontakt der Paste zum Untergrund vorhanden sein.

Für den speziellen Anwendungsfall in der Herz-Jesu-Kirche wurde eine Paste konzipiert, die sich u. a. dadurch auszeichnete, dass sie ein hohes Wasserrückhaltevermögen hatte und nach der Abtrocknung besonders leicht zu entfernen war. Das Wasserrückhaltevermögen kann durch Zusätze von so genannten Superabsorbent (Polyacrylaten) eingestellt werden. Die Haftfestigkeit auf dem Untergrund nach der

Abtrocknung kann durch Zusätze von pyrogenen Kieselsäure auf das gewünschte Maß reduziert werden. Die Paste wurde vorsichtig auf die Malschicht aufgespachtelt und einige Tage mit leichter PE-Folie abgedeckt. Nach Abnahme der Folie und Abtrocknung der Paste fiel diese weitgehend von selbst ab und musste dann nur noch an kleinen Stellen abgepinselt werden. Die dunklen Vergipsungen konnten in einem Arbeitsgang entfernt werden (Abb. 119). Nachuntersuchungen ergaben, dass der Gehalt an Ammoniumsulfat in den oberflächennahen Schichten des Mauerwerks nach der Behandlung sehr gering war (< 0,001 Ma.-%).

/ Schlussfolgerungen / Störende Verfärbungen auf Natursteinoberflächen lassen sich in vielen Fällen mit Hilfe von Pasten oder Kompressen, die reaktive Bestandteile enthalten, entfernen. Vor der Zusammenstellung (Rezeptierung) derartiger Pasten müssen gründliche Voruntersuchungen zu den Ursachen der Verfärbungen durchgeführt und die Stabilität des Untergrundes gegen mechanische Beanspruchung ermittelt werden. Als reaktive Bestandteile sollten nach Möglichkeit nur Substanzen verwendet werden, die sich nach einiger Zeit rückstandsfrei zersetzen (Beispiele: Ammoniumcarbonat, Wasserstoffperoxid). In manchen Fällen lassen sich schädliche Reaktionsprodukte durch eine Nachfolgebehandlung unschädlich machen (Beispiel: Umsetzung von Ammoniumsulfat mit Bariumhydroxid zu Ammoniak und unlöslichem Bariumsulfat). Wenn die letztere Möglichkeit nicht besteht, können lösliche Reaktionsprodukte bei der Abtrocknung in der Kompressen oder Paste angereichert werden, so dass nur geringe Anteile der Reaktionsprodukte in dem Stein verbleiben. Dies



119 Durch Vergipsung gebildete Verfärbungen auf einer Wandmalerei in der Herz-Jesu-Kirche in Berlin
a Vorzustand
b Musterfläche nach einer Behandlung mit ammoniumcarbonathaltigen Pasten, Salzbehandlung und Restaurierung

erfordert u. a. ein gründliches Vorwässern des porösen Steins und den Einsatz von Kompressen oder Pasten, die bis zur vollständigen Austrocknung einen guten kapillaren Kontakt zum Untergrund behalten und nicht vorzeitig Risse bilden. In nahezu allen Fällen ist es notwendig, zunächst Vorversuche im Labor durchzuführen und/oder kleinere Musterflächen an den betreffenden Objekten anzulegen.

ANMERKUNGEN

¹ Maatz, B. (Hrsg.): Die Alte Nationalgalerie. Geschichte, Bau und Umbau. Berlin, 2001.

² Nikolai, B.: Andreas Schlüter. Das Reiterdenkmal des Großen Kurfürsten. Berlin, 2002.

³ Friese, P.; Hermoneit, B.; Adamini, R.: Neues Verfahren befreit von Kupfergrün. Naturstein, Heft 2, 2002, S. 46–49.

⁴ Matteini, M.: Mineralische Festigungsmittel zur Konservierung von Objekten aus porösem Material aus dem Bereich der Kunst und Archäologie. In: Tagungsbeiträge „Mauersalze und Architekturoberflächen“. Dresden, 2002, S. 173–184.

Riedel, J.: Zur Konservierung gipsbelasteter Außenwandmalerei. In: Tagungsbeiträge „Mauersalze

und Architekturoberflächen“. Dresden, 2002, S. 185–189.

Protz, A.: The cleaning of the Hirschfeld Tomb by recarbonatisation of gypsum crust. Proc. VIII. Int. Congr. Deterioration and Conservation of stone. Berlin, 1996, S. 1387.