

Abschlußbericht

Projekttitlel	Modellhafte und nachhaltige Sanierung durch Rauchgas- und Nitratemissionen geschädigter Wandmalereien in der Marienkirche zu Bergen auf Rügen im ostseetypischen Wechselklima
Aktenzeichen	22116-45
Verfasser	Andreas Weiß, Dipl. Restaurator (HS)
Projektbeginn	31.5.2007
Laufzeit	2 Jahre, 3 Monate
Ort	Bergen
Jahr	2009

Projektkennblatt
Der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	AZ 22116	Referat	45	Fördersumme	34.650	
Antragstitel Sanierung durch Rauchgas- und Nitratemissionen geschädigter Wandmalereien in der Marienkirche zu Bergen auf Rügen						
Stichworte						
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende		
2 Jahre, 3 Monate		31.5.2007		31.8.2009		
Zwischenberichte						
21.4.2008		06.12.2008				
Bewilligungsempfänger	Evangelische Kirchengemeinde Bergen				Tel	03838-253524
	Der Gemeindekirchenrat				Fax	03838-201572
	Billrothstr. 22				Projektleitung	
	18528 Bergen auf Rügen				Andreas Weiß Dipl. Rest. (HS)	
Bearbeiter						
Ulrike Hahn Dipl. Rest. (HS)						
Kooperationspartner	Prof. Roland Möller, 01277 Dresden (wissenschaftlicher Fachbeirat) Jürgen Pursche, Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege, 80076 München (wissenschaftlicher Fachbeirat) Kirsten Trampedach, Konservierungsabteilung des Dänischen Nationalmuseums, DK-2800 Kgs. Lyngby (wissenschaftlicher Fachbeirat) Dr. rer. nat. Eberhard Wendler, Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege, 81247 München (wissenschaftlicher Fachbeirat) Landesamt für Kultur und Denkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern, 19055 Schwerin Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen, 28199 Bremen Konservierungsabteilung des Dänischen Nationalmuseums, DK-2800 Kgs. Lyngby Jens Christian Holst, freiberuflicher Bauhistoriker, 22955 Hoisdorf					
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens						
<p>Der spätromanische Wandmalereizyklus in St. Marien Bergen ist ein international bedeutendes Kunstdenkmal. Schweflige Rauchgasemissionen und mutmaßliche Düngemitteldepositionen haben zu hochgradigen Gips- und Nitratbelastungen geführt, die unter den regionalen Klimabedingungen einen zunehmend beschleunigten Verfall der Malereien hervorrufen. Zur Rettung des mit ca. 560m² enormen Bestandes sind unverzügliche und hocheffiziente Maßnahmen erforderlich. Einschlägige Forschungsergebnisse und praxiserprobte Techniken sind nur bedingt auf die vorliegende Problemstellung übertragbar: Aufgrund der Überlagerung der vergipsten Malschicht durch eine poröse Gipskruste war bei der Anwendung chemischer Gipsbehandlungsmethoden mit irreversiblen Verschleierungen der Malerei zu rechnen. Zusätzliche Kontraindikationen bestehen durch die Chemikalienempfindlichkeit mittelalterlicher Pigmente. Die Nitratbelastung kann bei der Anwendung alkalischer Methoden zu Pigmentverschwärzungen und beim Einsatz von Bariumhydroxid zu irreversiblen Verschleierungen und Gefügeschäden führen. Aufgrund der Fragilität der Malschicht und der enormen Wasseraufnahmekoeffizienten des mittelalterlichen Backsteinmauerwerks waren Schwierigkeiten bei der Kompressenextraktion der Nitrate und der Reaktionsprodukte chemischer Gipsbehandlungen zu erwarten. Ziel des Projektes war deshalb die Erarbeitung und Erprobung einer modellhaften und nachhaltigen Konservierungskonzeption für großflächig rauchgas- und nitratgeschädigte Raumfassungen im ostseetypischen Wechselklima.</p>						
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden						
<p>Als Voraussetzung für chemische Gipsbehandlungen wurden eingeführte Kompressenrezepturen hinsichtlich der Anwendbarkeit auf fragilen Malereien, sowie der Funktion bei Schutzkaschierungen und stark saugenden Untergründen optimiert. Daneben erfolgten Pilotversuche zur Entfernung aufliegender</p>						

Gipsschleier durch simultan gesteuerte Laserablation. Eingeführte Gipsbehandlungstechnologien wurden in Kombination mit Vorfestigungsvarianten auf hochfragile Konglomerate aus porösen Gipskrusten und entfestigten Malschichten angepaßt. Vor Ort durch die Restauratoren ausgeführte Arbeitspakete wurden vom Projektpartner MPA Bremen analytisch überwacht und periodisch durch den wissenschaftlichen Fachbeirat evaluiert. Die Schadenspotentiale der wegen Verfahrensgrenzen partiell in der Malerei verbleibenden Gipse werden durch ein selbstregelndes Klimamanagement passiviert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Entfernung aufliegender Gipsschleier mit handgeführten Festkörperreinigungslasern ist problematisch, da die defokussierte Strahlung auf die Malschicht durchdringt, deren Schädigungsschwelle in der Regel deutlich unter der Abtragsschwelle der Schleier liegt. Prinzipiell wäre der Einsatz präzise fokussierter, anhand von 3D-Scans geführter Faserlaser denkbar. Zustellgenauigkeit und flächige Auflösung verfügbarer Lasersysteme ermöglichen bisher jedoch keine ausreichend sichere Reproduktion der Topographie einer Wandmaleroberfläche.

Die chemische Entfernung der aufliegenden Gipsschleier, wie auch der Vergipsung der Malschicht ist prinzipiell mit der Ammoniumkarbonatmethode, sowie mit carbonatgeladenen Ionenaustauscherharzen möglich. Die Wirksamkeit beider Gipsumwandlungsverfahren ist jeweils stark von der Morphologie des Schadens und den maltechnischen Parametern abhängig. Hier konnte keine Systematik herausgearbeitet werden, vielmehr muß in kleinstem Maßstab, beispielsweise an Konturen der Malerei, mit Umschlägen gerechnet werden. Die für die jeweilige Malereipartie sinnvollste Behandlungsmethode kann deshalb nur vorab durch Handproben ermittelt werden. Dabei ist der gesamte Konservierungsprozeß zu betrachten, da beispielsweise die Applikation von Entsalzungskompressen im Anschluß an eine Gipsbehandlung schon bei der Vorfestigung vorbereitet werden muß.

Durch Gipsumwandlung mit carbonatgeladenen Ionenaustauscherharzen können die Gipsschleier weitgehend reduziert und somit die Ablesbarkeit der Malerei wiederhergestellt werden. Mit der Ammoniumkarbonatmethode wäre sogar eine vollständige und nahezu rückstandsfreie Reduzierung der Gipsbelastung möglich. Wegen des Risikos von Pigment- und sonstigen Farbveränderungen sollte die Methode jedoch auf mittelalterlichem Malereibestand gar nicht und auf Ergänzungen aus dem 19. Jahrhundert nur dort angewendet werden, wo mit Ionenaustauschern kein optisch befriedigender oder ausreichend stabiler Zustand erreicht werden kann.

Die an der Putzoberfläche konzentrierten hygroskopischen Salze haben bislang augenscheinlich das Schadenspotential der Gipsbelastung herabgesetzt, vermutlich durch die Pufferung von Luftfeuchteschwankungen an der Maleroberfläche. Eine Entsalzung kann hier kontraproduktiv sein.

Das für die Rasterfeuchtemessung am Malgrund eingesetzte Mikrowellenmeßsystem eignet sich aufgrund seiner in die Tiefe stark abnehmenden Empfindlichkeit für die Visualisierung der flächigen Verteilung hochhygroskopischer Salze.

Eine für die Materialfeuchteanalyse mittelalterlicher Backsteinmauerwerke getestete kapazitive Tiefensonde bietet gegenüber der etablierten gravimetrischen Analyse an Materialproben eine höhere Meßgenauigkeit und die beliebige Wiederholbarkeit der Messungen ohne neue Eingriffe in das Bauwerk.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Nach Abschluß des parallel laufenden DBU-Forschungsprojektes AZ 23375-45 „Sanierung des Grünalgenbefalls“ an der Kirche Poseritz werden die Projektergebnisse in einem gemeinsamen öffentlichen Projektkolloquium vorgestellt. Der Abschlußbericht wird über die Online-Datenbank hericare des Hornemann-Instituts der Fakultät Erhaltung von Kulturgut der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen öffentlich zugänglich gemacht.

Fazit

Die Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Projektziele hat sich bewährt, Änderungen der Zielsetzung sind bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen aus derzeitiger Sicht nicht erforderlich.

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung	5
Bericht	6
1 Anlaß und Zielsetzung des Projekts	6
1.1 Kunsthistorische Wertung	6
1.2 Umweltaspekte und resultierende konservatorische Probleme	6
1.3 Forschungsstand zur Gipsumwandlung/ Gipspassivierung	8
1.4 Risiken und Grenzen der Anwendung anerkannter Verfahren	11
1.5 Ziel des Projekts	12
2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden	13
2.1 Vorbereitende und flankierende Maßnahmen am Objekt	13
2.2 Projektphase, Abschnitt 1	14
2.2.1 Anlage von Musterflächen für die Gipsbehandlung	14
2.2.2 Erfassung von Materialkennwerten	16
2.2.3 Arbeitsproben zur Gipsbehandlung	18
2.2.4 Musterachsen für die Retusche	21
2.2.5 Voruntersuchungen zur Stabilisierung des Raumklimas durch geregelte Lüftung	21
2.3 Evaluierung und Praxiserprobung aktueller Erkenntnisse	21
2.4 Projektphase, Abschnitt 2	22
3 Ergebnisse	23
3.1 Bauhistorische Schadensanalyse	23
3.2 Zu bauphysikalischen, materialkundlichen und kunsttechnologischen Sachverhalten	23
3.2.1 Flächige Verteilung von Feuchte und hygroskopischen Salzen	23
3.2.2 Einfluß von hygroskopischen Salzen auf gipsbedingte Malschichtschäden	24
3.2.3 Pigment- und Bindemittelanalysen der Malschicht	24
3.2.4 Möglichkeiten der kontrollierten Belüftung	25
3.3 Zu erprobten Diagnosetechniken und Geräten	26
3.3.1 Einsatzmöglichkeiten einer kapazitiven Tiefensonde aus der Bodenfeuchteanalytik für die Mauerwerksdiagnostik	26
3.3.2 Messung der kapillaren Wasseraufnahme über die Wandmalereioberflächen	28
3.4 Zu erprobten Konservierungstechnologien	28
3.4.1 Generelle Vorgehensweise/ Arbeitsabläufe	28
3.4.2 Mechanische Reinigung einschließlich Vorfestigung der Malschicht	30
3.4.3 Festigung der Malschicht	30
3.4.4 Auswahl geeigneter Kompressenrezepturen einschließlich Schutzkaschierung für die Wirkstoffapplikation und die Salzreduzierung	32
3.4.5 Indikationen für die Kompressenextraktion löslicher Salze	33
3.4.6 Zur Eignung chemischer Gipsbehandlungsverfahren	34
3.4.7 Möglichkeiten der Reinigung mit Lasertechnologie	37
4 Diskussion	39
5 Öffentlichkeitsarbeit, Dissemination und Fortführung der Projektvorhaben	39
6 Fazit	40
Quellen- und Literaturverzeichnis	41
Verzeichnis der Anlagen	44
Anhang	

Zusammenfassung

Der vor 1193 unter dänischen, westfälischen und niedersächsischen Einflüssen entstandene spätromanische Wandmalereizyklus in St. Marien Bergen ist ein international bedeutendes Kunstdenkmal. Er wurde 1896 aufgedeckt und bis 1902 durch den Maler und Innenarchitekten August Oetken restauriert.

Aufgrund eines sich offensichtlich beschleunigenden Verfalls des gesamten Malereibestandes durch Salzausblühungen hat die Kirchengemeinde 2003 restauratorische Voruntersuchungen beauftragt, die von der MPA Bremen wissenschaftlich begleitet wurden. Als Hauptschadensursache wurden hochgradige und umfassende Gips- und Nitratbelastungen der Malschicht im Zusammenwirken mit klimatischen Belastungen festgestellt. Die Gipsbelastung entstand nach der Freilegung – bedingt durch die exponierte Lage auf der Leeseite eines Heizkraftwerkes - durch den Zutritt schwefliger Rauchgasemissionen bei kondensatbedingter Durchfeuchtung der Malschicht. Die Nitratbelastung dürfte infolge der in der DDR - Landwirtschaft üblichen Düngung von Feldern von Flugzeugen aus entstanden sein. Durch das hygroskopische Verhalten der Nitrate wird die Mobilität des Gipses in der Malschicht augenscheinlich gedämpft. Kristallisationszyklen haben an anderer Stelle zu erheblichen Strukturschäden geführt. Aufgrund des erreichten Vergipsungsgrades werden durch thermohygrische Bewegungen Scherspannungen zwischen Malschicht und Putz hervorgerufen, die zu fortschreitenden Bindungsverlusten führen. Die Standzeit konventioneller Festigungsmaßnahmen ist erheblich herabgesetzt. Zur Rettung des mit ca. 560m² enormen Malereibestandes sind deshalb unverzügliche und hocheffiziente Maßnahmen erforderlich.

Die zur Konservierung vergipster Oberflächen aus über 35 Jahren Forschung und praktischer Anwendung verfügbaren umfangreichen Erkenntnisse sind auf die vorliegenden Problemstellungen nur bedingt anwendbar: Aufgrund der Überlagerung der vergipsten Malschicht durch poröse Gipskrusten und -schleier drohen bei Anwendung chemischer Methoden zur Gipsumwandlung/ Gipspassivierung irreversible weiße Verschleierungen der Malerei. Eine laserbasierte Entfernung der aufliegenden Schleier ist weitgehend unmöglich, da die Strahlung auf die Malschicht durchdringt, die ihrerseits der zur Entfernung der Schleier erforderlichen Energie nicht standhält. Die Nitratbelastung kann bei der Anwendung alkalischer Methoden zu Verschwärzungen von Blei- und Kupferpigmenten und bei der Bariumhydroxidmethode zu irreversiblen Verschleierungen und Gefügeschäden führen. Die Kompressenextraktion der Nitrate und der bei einigen Gipsumwandlungsmethoden entstehenden leichtlöslichen Sulfate wird neben der Fragilität der Malschicht durch die enormen Wasseraufnahmekoeffizienten des mittelalterlichen Backsteinmauerwerks erschwert.

Ziel des Projektes war deshalb die Erarbeitung und Erprobung einer modellhaften und nachhaltigen Konservierungskonzeption für großflächig rauchgas- und nitratgeschädigte Raumfassungen im ostseetypischen Wechselklima. Dabei sollten vorhandene Praxiserfahrungen mit eingeführten Konservierungstechnologien unter den regionalspezifischen Bedingungen verdichtet und ggf. modifizierte Technologien abgeleitet werden, eingeführte Kompressenrezepturen auf ihre Anwendbarkeit an fragilen Malereien über dem stark saugenden Backstein der Region geprüft und ggf. modifiziert werden. Ergebnis der Untersuchungen ist eine integrierte Technologie zur Kompressenentsalzung und Gipsumwandlung auf der Basis von Ammoniumkarbonat und karbonatbeladenen Ionenaustauscherharzen.

Die Schadenspotentiale der aufgrund von Verfahrensgrenzen und Kontraindikationen trotzdem in der Malerei verbleibenden Salze sollen durch Einrichtung eines selbstregelnden Klimamanagements zur Minimierung von Tauwasserausfall, Feuchte- und Temperaturschwankungen langfristig passiviert werden. Zur Vorbereitung des Projektes wurden hier ein Monitoring des Raumklimas im Jahreszyklus durchgeführt und die Winddichtigkeit der Raumschale, unter anderem mit Automatiktüren, verbessert.

Projektbegleitend wurden verschiedene Verfahren zur Mauerfeuchtediagnose auf ihre Eignung an Wandmalereien, bzw. an mittelalterlichen Backsteinmauerwerken getestet. Dabei konnten die flächige Verteilung der Belastung der Malereien mit hochhygroskopischen Salzen visualisiert und die Eignung einer kapazitiven Tiefensonde für des Monitoring von Mauerfeuchten in Tiefenprofilen bis 1m aufgezeigt werden.

Bericht

1 Anlaß und Zielsetzung des Projekts

1.1 Kunsthistorische Wertung

Der wahrscheinlich vor 1193¹ entstandene spätromanische Wandmalereizyklus in der Marienkirche zu Bergen auf Rügen wird bereits in einer 1952 vorgelegten Dissertation in eine Reihe mit bedeutenden europäischen Wandmalereien des ausgehenden 12. und des beginnenden 13. Jahrhunderts gestellt: „...ein Ausmalungsprogramm von einer Konsequenz, neben das sich kaum eine andere Kirche in Deutschland, England, Frankreich und Skandinavien stellen kann. ... Bergen darf neben Malereien von Saint-Savin-sur-Gartempe ... aus dem ersten Drittel des 12. Jahrhunderts, und denen ... in der Kirche zu Chalgrove in Shropshire (12. Jahrhundert), den Gewölbe- und Wandmalereien von Schwarzrheindorf (Unterkirche 1151/56 und Oberkirche zwischen 1176 und 1193, Brauweiler (zwischen 1150/74) und St. Maria Lyskirchen zu Köln (nach 1220), mit den Zyklen des Braunschweiger Domes (1222-1250) im gleichen Atemzug genannt werden²“.

Die 1896 wiederentdeckten Malereien wurden bis 1902 unter Leitung von August Oetken restauriert³. Obwohl Oetken seinerzeit als einer der angesehensten Fachleute für romanische Malereien galt⁴, wurde ihm alsbald ein respektloser Umgang mit dem Original vorgeworfen⁵. Die bis in die aktuelle Kunstgeschichtsschreibung verbreitete Einschätzung, bei den in Bergen sichtbaren Malereien handele es sich im Wesentlichen um die Schöpfungen Oetkens, konnte durch aktuelle Untersuchungen⁶ relativiert werden. Wesentliche Teile der Malereien sind ursprünglicher, nahezu unverfälscht erhaltener Bestand⁷. Die neuzeitlichen Ergänzungen wurden von Oetken außerordentlich sensibel dem Kontext des mittelalterlichen Originals angepaßt.

Die Marienkirche in Bergen ist als Kunstdenkmal von nationaler Bedeutung gelistet.

1.2 Umweltaspekte und resultierende konservatorische Probleme

Bereits seit den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts gibt es regelmäßige Nachrichten über partielle Verfallserscheinungen an den Malereien. Seit Mitte der 90er Jahre ist jedoch großflächig ein mit zunehmender Geschwindigkeit fortschreitender Verfall zu beobachten. Die Kirchengemeinde hat deshalb im Frühjahr 2003 restauratorische Voruntersuchungen der Malereischäden beauftragt. Die Ergebnisse

¹ Berckenhagen datiert die Malereien auf 1193 [Berckenhagen, S. 142]. Jüngste bauhistorische Untersuchungen von Holst datieren die Fertigstellung der Ostteile und des Langhauses vor 1193 [Holst 2004]. 1193 wird die bereits geweihte Kirche dem Nonnenkloster gestiftet. Die Anlage der Wandmalereien nimmt keine Rücksicht auf die zu Klosterzeiten vorhandene Empore und deren Zugang vom Ostflügel her. Nach vorläufiger kunsthistorischer Zuordnung liegen Datierungen vergleichbarer dänischer Malereien um 1175 bis 1190.

² [Berckenhagen, S. 114]. Jüngste Vergleiche mit dänischen Malereien des 12. Jahrhunderts zeigen deutliche stilistische Parallelen, möglicherweise waren Berckenhagen die dänischen Beispiele nicht bekannt

³ [Ohle/ Baier 1963, S. 123].

⁴ Möller, R. Mündliche Information 2004, Weitzel, S-M.. Mündliche Information 2004. Weitere Werke Oetkens sind Fresken im Großen Remter der Marienburg, im Dom zu Münsterberg in Schlesien und in der Jungfrauenkirche Breslau, sowie die Mosaiken in der Elisabethkemenate auf der Wartburg (vgl. Thieme/ Becker, Bd. 25, hrsg. von H. Vollmer, Leipzig 1932, S. 575., zitiert nach [Weitzel 2000, S. 10]).

⁵ Oetken hat offenbar keine Dokumentation über die Restaurierung angefertigt. .

⁶ Restauratorische Voruntersuchung, vgl. Abschnitt 1.2, S. 6 ff.

⁷ Im untersuchten Bereich sind ca. 50% der Malerei ursprünglicher Bestand, ca. 80% davon sind nahezu unverfälscht im Originalzustand erhalten.

dieser, von der Amtlichen Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen wissenschaftlich begleiteten Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die diffizilen Malereien sind über ihre gesamte Höhe der Wände durch Salzausblühungen, Putz- und Malschichtabsprengungen unterschiedlichster Morphologie geschädigt. Die Schadensbilder variieren abhängig von der Höhe, dem Untergrund und der Beschaffenheit der Farbschicht häufig.
- Die Hauptschadensursache ist eine hochgradige Gipsbelastung der Malschicht im komplexen Zusammenwirken mit der standort- und nutzungsbedingten klimatischen Belastung des Innenraumes und einer zusätzlichen Belastung mit Kalziumnitrat.
- Die weitgehend von einer transparenten Gipskruste eingeschlossene Malschicht ist zusätzlich von porösen Gipskrusten und -schleiern überlagert.
- Aufgrund des erreichten Vergipsungsgrades der Malschicht entstandene Unterschiede im thermohygrischen Dehnungsverhalten rufen bei Klimaschwankungen Scherspannungen zwischen Putz und Malschicht hervor, die zur fortschreitenden Entfestigung führen. Das bereits hochgradig fragile System hält deshalb weiteren klimatischen Belastungen nicht mehr stand, es besteht akute Verlustgefahr für weite Bereiche des gesamten Malereibestandes von ca. 400m² ⁸.
- Die thermohygrischen Bewegungen der vergipsten Malschicht, sowie Lösungs- und Kristallisationszyklen des Gipses werden sehr wahrscheinlich durch die hygroskopische Wirkung der in hoher Konzentration vorliegenden Nitrate verstärkt⁹.
- Aufgrund der hohen Mobilität des Gipses ist die Standzeit konventioneller Maßnahmen zur Malschichtfestigung partiell unter 6 Monate herabgesetzt.
- Die Malerei befindet sich auf einer dünnen Putzlage über einem Backsteinmauerwerk mit enorm hohen Wasseraufnahmekoeffizienten.

Die Gipsbelastung der Malschicht wurde infolge der Freilegung¹⁰ durch gleichzeitige Einwirkung schwefeliger Luftverunreinigungen¹¹ aus dem Hausbrand und periodischer Tauwasserbildung¹² verursacht.

Die Marienkirche befindet sich in klimatisch exponierter Lage an einem der höchsten Punkte der Stadt Bergen, die mit bis zu 90m über NN das Umland deutlich überragt. Der Gebäudebestand der Stadt wurde bis in die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts überwiegend mit Braunkohle beheizt. Größere Heizungsanlagen öffentlicher Bauten und ein an der Luvseite der Kirche gelegenes Fernheizwerk wurden seit Mitte der 70er Jahre zunehmend mit stark schwefelhaltiger Rohbraunkohle betrieben¹³.

Das regionale Klima ist durch tendenziell hohe Luftfeuchte, enorme Windlasten und hohe Feuchteschwankungen gekennzeichnet. Die überwiegenden Südwestwetterlagen mit täglichen Feuchtwechsels durch atlantische Tiefausläufer werden alternierend von relativ trockenen kontinentalen Klimaperioden unterbrochen.

Der Transport von Feuchte und Rauchgasen aus der Außenluft an die Maleroberfläche wurde durch eine infolge der Nutzung und mangelnder Bauunterhaltung erhöhte Luftwechselrate begünstigt. Die Herkunft der Nitratbelastung ist bisher nicht eindeutig geklärt. Die flächige Ausdehnung über die spezifischen Horizonte hinaus lassen allerdings Nitratemissionen infolge der in den 70er und 80er Jahren in

⁸ Der Schädigungsgrad der Malereien korreliert mit dem Gipsgehalt der Malschichten. Eine Ende 2004 mit den Restauratoren Sabino Giovannoni (vorm. Opificio delle Pietre Dure, Florenz), Kirsten Trampedach und Susanne Ørum (Dänisches Nationalmuseum Kopenhagen) durchgeführte Nachkontrolle zeigte eine deutliche Zunahme der Schäden durch Kristallisationsvorgänge.

⁹ Bläuer-Böhm, C.. Mündlicher Hinweis 2004.

¹⁰ Bis zur Freilegung dürften die Malereien durch aufliegende Kalktünchen gegen den Einfluß schwefeliger Luftverunreinigungen abgeschirmt gewesen sein.

¹¹ Der Gips ist in der Malschicht konzentriert, es gibt keine Hinweise auf eine Herkunft aus dem Mauerwerk.

¹² Aufgrund der regionalen Klimazyklen überlagern sich während der Heizperiode die größte Belastung mit Rauchgasen und eine Häufung von Kondenserscheinungen.

¹³ Zur Nivellierung der Rauchgasbelastung in der DDR wurde in den industriell wenig belasteten Gebieten gezielt stark schwefelhaltige Rohbraunkohle verfeuert. Emissionen kleinerer Industrieansiedlungen im Umfeld der Kirche beschränkten sich auf Heizungsabgase.

der DDR-Landwirtschaft verbreiteten intensiven Düngung mit Flugzeugen vermuten¹⁴. Die Verschleppung der Düngemittel wurde durch die erhöhte Windbelastung der Region begünstigt.

Die Wandmalereien der Marienkirche Bergen sind somit durch ein komplexes System von Schadensmechanismen bedroht, welches durch das integrale Einwirken von anthropogen verursachten Umweltbelastungen, klimatischen Belastungen und Nutzungseinflüssen entstanden ist.

1.3 Forschungsstand zur Gipsumwandlung/ Gipspassivierung

Die Vergipsung von Wandmalereien und Architekturoberflächen ist ein verbreitetes Phänomen. Seine konservatorische Behandlung wird seit über 35 Jahren, ausgehend von den Arbeiten um Ferroni und Matteini erforscht. Daraus resultierende, aktuell praktizierte Technologien zur Gipsumwandlung werden im Folgenden vorgestellt:

Grundlegende Methoden

1.3.1 Gipsumwandlung mit Ammoniumkarbonat [Matteini und Nepoti 1996 , S. 71; Matteini 2002, S. 173 ff.]

- Wirkungsweise
 - Ammoniumkarbonat vollzieht in wäßriger Lösung eine Austauschreaktion mit Kalziumsulfat (Gips) zu Kalziumkarbonat (Kalk) und Ammoniumsulfat. Überschüssiges Ammoniumkarbonat zersetzt sich zu Ammoniak, Kohlendioxid und Wasser.
- bekannte Risiken
 - Da auf der Oberfläche gebildetes Kalziumkarbonat im noch feuchten, weitgehend unsichtbaren Zustand abgereinigt werden muß, besteht die Gefahr der Weißschleierbildung auf der Oberfläche.
 - Insbesondere in porösen Oberflächenschichten können sich die Kohäsion verringern und Verluste an Farbtintensität einstellen¹⁵.
 - Durch die Erhöhung der Porösität von Malschichten gegenüber der ursprünglichen Situation steigt die Gefahr irreversibler Verschmutzungen¹⁶.
 - Keine vollständige Gipsumwandlung möglich, latent reaktiver Gips verbleibt in der Porenstruktur¹⁷

1.3.2 Gipsumwandlung/ Passivierung mit Ammoniumoxalat [Matteini und Nepoti 1996 , S. 69 ff.; Matteini 2002, S. 181 ff.]

- Wirkungsweise und Anwendung
 - Ammoniumoxalat vollzieht in wäßriger Lösung eine Austauschreaktion mit Kalziumsulfat (Gips) zu Kalziumoxalat und Ammoniumsulfat.
- konkrete Risiken
 - Gefahr der Verschleierung bei oberflächlich aufliegenden Gipskrusten
 - Keine vollständige Gipsumwandlung möglich, latent reaktiver Gips verbleibt in der Porenstruktur¹⁸

¹⁴ Ein Reparaturstau an der Fensterverglasung dürfte in dieser Zeit für hohe Luftwechselraten gesorgt haben. NO_x-Emissionen aus dem Straßenverkehr kommen aufgrund der ländlich strukturierten Umgebung und der besonders bis 1990 geringen Verkehrsdichte kaum in Betracht.

¹⁵ „Der Verlust an Farbtintensität an der Oberfläche ist zurückzuführen auf das höhere Deckvermögen des aus dem CaSO₄ * 2H₂O. gebildeten CaCO₃. Gips ist verglichen mit dem Calciumcarbonat die transluzidere Substanz.“ [Matteini und Nepoti 1996 , S. 71].

¹⁶ [Pursche, J.: mündliche Information 2004].

¹⁷ Während Matteini 1994 noch von einer vollständigen Umwandlung des Gipses ausgeht [Matteini und Nepoti 1996 , S. 71], kommt er 2002 zu dieser Einschätzung. Demnach verläuft die Umwandlungsreaktion an Gipskristallen vom Rand zum Kern. Nach Bildung einer Hülle aus Kalziumkarbonat wird jedoch der Kern des Gipskristalls nicht mehr von der Ammoniumkarbonatlösung erreicht, die Reaktion kommt zum Erliegen [Matteini 2002, S. 173 ff.]. Bisher unveröffentlichte Untersuchungsergebnisse von Schlütter und Zahn in der Georgenkirche Wismar belegen allerdings, daß auch mit der Ammoniumkarbonatmethode vollständige Gipsumwandlungen möglich sind (mündliche Information durch M. Zahn 2004).

¹⁸ Die Reaktion kommt durch Bildung einer inerten Schale aus Kalziumoxalat zum Erliegen.

Ammoniumkarbonat und -oxalat sind unverträglich mit Kupferpigmenten wie Azurit oder Malachit¹⁹. Für die Extraktion des bei der Gipsumwandlung entstehenden leichtlöslichen Ammoniumsulfat ist ein auf die Saugspannung des Untergrundes abgestimmtes Kompressenmaterial erforderlich. Von der Komresse nicht erreichtes, im Gefüge verbleibendes Ammoniumsulfat kann zu erneuten Schäden durch Kristallisation/ Gipsbildung führen.

1.3.3 Gipspassivierung mit Bariumhydroxid [Matteini und Nepoti 1996 , S. 72 ff.; Matteini 2002, S. 177 ff.]

- Wirkungsweise
 - Bariumhydroxid vollzieht in wäßriger Lösung eine Austauschreaktion mit Kalziumsulfat (Gips) zu schwerlöslichem Bariumsulfat und Kalziumhydroxid, welches an der Luft karbonatisiert.
 - Überschüssiges Bariumhydroxid reagiert mit dem Kohlendioxid zu unlöslichem, farblosem Bariumkarbonat.
- bekannte Risiken
 - Gefahr der Weißschleierbildung auf der Oberfläche durch Bariumsulfat (Schwerspat)
 - Gefahr der Fixierung von Schmutzschichten
 - Gefahr der Verdunkelung der Malerei [Riedel 2002, S. 188]
 - Auf nitratbelasteten Untergründen können durch Bildung von Bariumnitrat Weißschleier auf der Oberfläche und Gefügeschäden durch Salzkristallisation in der Putzmatrix entstehen²⁰.
 - Keine vollständige Gipsumwandlung möglich, latent reaktiver Gips verbleibt im Gefüge²¹

Die Reagenzien für die obengenannten Methoden (1.3.1 bis 1.3.3) werden in wäßriger Lösung mittels Kompressen auf die Oberfläche gebracht.

1.3.4 Partielle Gipsentfernung mit anionischen Ionenaustauscherharzen [Matteini und Nepoti 1996 , S. 69; Matteini 2002, S. 173 ff.]

- Wirkungsweise und Anwendung
 - Bei der im wäßrigen Milieu verlaufenden Reaktion mit den Ionenaustauscherharzen wird durch Substitution des Sulfations der Gips in Kalziumhydroxid gewandelt, welches mit dem Kohlendioxid der Luft karbonatisiert.
 - Applikation als Mikrokügelchen in einer wäßrigen Paste, keine Penetration in die poröse Struktur
 - Prinzipiell verträglich mit kupferhaltigen Pigmenten (bei Abwesenheit von Nitraten).
- bekannte Risiken und Nachteile
 - nur an der Oberfläche wirksam, ungenügend auf Krusten mit starken Schichtdicken²².
 - Gefahr der Verschleierung durch Karbonatisierung von ungenügend abgereinigtem Kalziumhydroxid.

Mit Ausnahme der neutralen Ammoniumoxalatmethode verlaufen alle chemischen Methoden im alkalischen Milieu. Dies kann bei gleichzeitiger Nitratbelastung die Oxydation (Verschwärzung) von Blei- und Kupferpigmenten durch Nitrate begünstigen²³.

1.3.5 Laserbehandlung

- Wirkungsweise und Anwendung
 - Auf vergipsten Originaloberflächen aufliegende Krusten, die bei chemischer Gipsumwandlung schwer entfernbare Kalkschleier bilden würden, werden mit Hilfe von Laserstrahlen gedünnt.
 - Die zu entfernenden Ablagerungen werden durch Absorption der Laserenergie verdampft.

¹⁹ Ammoniak bildet mit Kupfer lösliche Komplexe.

²⁰ (Matteini, nach [Preis 1996, S. 96].).

²¹ Nach Matteini verläuft die Umwandlungsreaktion an Gipskristallen vom Rand zum Kern. Nach Bildung einer Hülle aus Bariumsulfat wird jedoch der Kern des Gipskristalls nicht mehr von der Reagenz erreicht, die Reaktion kommt zum Erliegen.

²² Im Gegensatz zu Matteini gibt Preis erhebliche Tiefenwirkungen der Austauscherharze an [Preis 1996, S. 94]. Untersuchungen von Bär belegen zumindest für Kationenaustauscher auf Kalkkrusten schwer kontrollierbare und unkontinuierlich verlaufende Reaktionsfronten [Bär 1994].

²³ [Schramm, H. P.: mündliche Information 2004].

- Die Tiefenwirkung ist abhängig von der Dichte und dem Absorptions- bzw. Reflektionsvermögen der zu behandelnden Schichten. Die Steuerung erfolgt über die Änderung der Energiedichte und der Pulsfrequenz des Laserlichts. Die erforderliche Energie steigt prinzipiell mit der Helligkeit der zu entfernenden Schicht.
- Die unmittelbare Kontrolle der Tiefenwirkung erfolgt manuell mit optischen Hilfsmitteln (Mikroskop), eine simultane Kontrolle während der Ausführung ist nicht möglich.
- bekannte Risiken
 - Die simultane optische Kontrolle während der Ausführung ist bei geringen Farbunterschieden zwischen aufliegender Verkrustung und zu schützender Oberfläche problematisch. Mit zunehmender Transparenz und Helligkeit der aufliegenden Krusten nehmen die Kontrollmöglichkeiten ab, da eine Leitschicht fehlt [Matteini 2002, S. 175].
 - Bei durchlässigen hellen Ablagerungen werden unterliegende dunklere Schichten zuerst angegriffen.
 - Die sichere Diagnose der verbleibenden Restdicke der Gipskruste und damit die Einschätzung des Risikos von Weißschleierbildung bei nachfolgender chemischer Gipsumwandlung ist nur stichprobenartig durch analytische Baustoffmikroskopie²⁴ möglich.

Möglichkeiten der Optimierung durch Kombination der o. a. Methoden

1.3.6 Kombination der Ammoniumkarbonat- und der Bariumhydroxidmethode

- Vorteile/ Wirkungsweise
 - Bei der Ammoniumkarbonatbehandlung u. U. im Gefüge verbleibendes, reaktives Ammoniumsulfat wird durch Reaktion mit Bariumhydroxid zu schwerlöslichem Bariumsulfat passiviert²⁵.

1.3.7 Kombination der Anionenaustauscherharze und der Bariumhydroxidmethode

- Vorteile/ Wirkungsweise
 - Der durch lokal beschränkte Wirkung der Ionenaustauscherharze nicht erreichte Gips wird durch Bariumhydroxid passiviert .

1.3.8 Kombination der Anionenaustauscherharze und der Ammoniumoxalatmethode

- Vorteile/ Wirkungsweise
 - In der Theorie werden die unzureichende Tiefenwirkung der Ionenaustauscher und die Gefahr der Weißschleierbildung durch Kalziumoxalat auf der Oberfläche kompensiert.

Eine Erfolgskontrolle der Gipsumwandlung/ -entfernung/ -passivierung ist bei allen Methoden nur mittels analytischer Baustoffmikroskopie möglich.

Ein generelles Problem ist die Gefahr der Bildung schwerlöslicher Kalkschleier bei der Behandlung von oberflächlichen Vergipsungen. Für die Behandlung bzw. Prävention der Kalkschleier wird ein befriedigender Versuch einer mit kationischen Ionenaustauscherharzen kombinierten Methode beschrieben [Riedel 2002, S. 187]. Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Kationenaustauscherharzen an Wandmalereien von Bär [Bär 1994, S. 125 ff.] zeigen jedoch ein hohes Schadensrisiko und weiteren Forschungsbedarf auf.

²⁴ Erforderlich sind vergleichende Untersuchungen an Dünnschliffen von Malschichtproben unter dem Polarisationsmikroskop und dem Rasterelektronenmikroskop.

²⁵ Aufgrund der geringen Löslichkeit von Bariumhydroxid entbindet dieses Verfahren von der Notwendigkeit der Kompressenextraktion des Ammoniumsulfats [Batz und Paschinger 1995, S. 93].

1.4 Risiken und Grenzen der Anwendung anerkannter Verfahren

Die regionalen Klima- und Umweltbelastungen am Standort Bergen im ostseetypischen Wechselklima und in der ehemaligen DDR haben an den Wandmalereien in St. Marien zur Ausprägung spezifischer Schadensbilder geführt²⁶. Daraus ergeben sich konkrete Risiken und Grenzen für Anwendung anerkannter Verfahren zur Gipsumwandlung. Diese, durch die regionale Bauweise verstärkten Probleme lassen sich – modellhaft für die mittelalterlichen Malereien in der Region – folgendermaßen zusammenfassen:

Über die bekannten Unverträglichkeiten ammoniumhaltiger Reagenzien mit Kupferpigmenten²⁷ hinaus erfordern die abhängig von der Höhe, dem Untergrund und der jeweiligen Beschaffenheit der Farbschicht stark variierenden Schadensbilder differenziert angepaßte Behandlungsmethoden.

- Mit Ausnahme der Ammoniumoxalatmethode (Punkt 1.3.2) erfordern alle chemische Verfahren die Extraktion vorhandener Nitrate aus Malereipartien mit Bleipigmenten. Bei Anwendung anionischer Ionenaustauscherharze (Punkt 1.3.4) sind auch Kupferpigmente betroffen, die Anwendung von Bariumhydroxid (Punkt 1.3.3) setzt eine generelle Nitratextraktion voraus.
- Die Nitratextraktion vor der Gipsumwandlung wird jedoch durch die infolge der Verkrustung eingeschränkte Kapillarität der Malschicht erschwert.
- Sofern bei der Ammoniumkarbonat- und Ammoniumoxalatmethode (1.3.1, S. 8 ff. und 1.3.2, S. 8 ff.) Reste des entstehenden Ammoniumsulfats in Putz und Malschicht verbleiben, ist aufgrund der klimatischen Bedingungen mit erneuten Gipsbildungen und Kristallisationsschäden zu rechnen. Eine vollständige Extraktion der Sulfate oder ihre Passivierung durch Bariumhydroxid (Punkt 1.3.6) muß deshalb sichergestellt werden.
- Alle chemischen Verfahren erfordern somit die Bereitstellung einer Kompressen, deren Saugspannung den hohen Wasseraufnahmekoeffizienten des Backsteinmauerwerks standhält²⁸.
- Aufgrund der erreichten Fragilität ist die mechanische Belastbarkeit der Malschichten allerdings soweit herabgesetzt, daß bereits die Kompressenapplikation ein Risiko darstellt.
- Bei allen chemischen Verfahren besteht ein erhöhtes Risiko der irreversiblen weißen Verschleierung der Malerei, weil
 - die vergipste Malschicht mit einer porösen Gipskruste überlagert ist
 - die Fragilität der Malschicht sowohl die mechanische Entfernung aufliegender Gipskrusten im Vorfeld, als auch die Abreinigung von neugebildetem Kalziumhydroxid und Kalziumkarbonat im Anschluß an die chemische die Behandlung erschwert.
- Der Einschluß der Malschicht in eine transparente Gipskruste erschwert eine optische Differenzierung und Orientierung zwischen der zu behandelnden Vergipsung und der zu schützenden Malschicht.
- Bei der Reduzierung aufliegender Gipskrusten mit Lasertechnik (Punkt 1.3.5) wird durch geringe Dichteunterschiede zwischen der vergipsten Malschicht und den aufliegenden Krusten und Schleiern, sowie deren Durchlässigkeit und Reflektionsvermögen die Steuerung der Tiefenwirkung erschwert. Publierte Erfahrungen mit dem Verfahren beziehen sich im Wesentlichen auf die Entfernung kompakter, dunkler Krusten.

²⁶ Vgl. Abschnitt 1.2, S. 6 ff.

²⁷ Punkt 1.3.1, 1.3.2, 1.3.6 und 1.3.8, vgl. Anm. 19, S. 9.

²⁸ Zur Salzreduzierung in porösen Baustoffen liegen umfangreiche Forschungsergebnisse vor. Bei den zugrundeliegenden Praxisobjekten ist jedoch die nordostdeutsche Region mit ihrem spezifischen mittelalterlichen Bautenbestand und den spezifischen klimatischen Gegebenheiten der südlichen Ostseeküste (vgl. Abschnitt 1.2, S. 6 ff.) unterrepräsentiert. Bei der in der Region gleichwohl praktizierten Kompressenentsalzung werden in der Regel die in anderen Regionen gewonnenen Erfahrungen unverändert übernommen, die Wirksamkeit von Kompressen anhand der extrahierten Salzmenge beurteilt. Die aus hohen Saugspannungen der Untergründe bzw. geringen Wasserrückhaltevermögen der Kompressen resultierende Gefahr des Salztransportes von der Oberfläche in das innere des Bauteils wird in der Regel unterschätzt. Aktuelle eigene negative Erfahrungen mit normalkonfektionierten Kompressen in St. Marien Stralsund bestätigen dies.

1.5 Ziel des Projekts

Ziel des Projektes war die Erarbeitung und Erprobung einer modellhaften und nachhaltigen Konservierungskonzeption für großflächig durch Rauchgas- und Nitratemissionen geschädigte Raumfassungen unter den spezifischen Bedingungen des ostseetypischen Wechselklimas und der norddeutschen Backsteinarchitektur. Ausgehend von der in den Abschnitten 1.2, S. 6 ff. und 1.4, S. 11 ff. dargelegten besonderen Komplexität der Schadensmechanismen bestehen dabei folgende, miteinander vernetzte Bearbeitungsschwerpunkte:

1.5.1 Bereitstellung einer auf die enorm hohen Wasseraufnahmekoeffizienten der mittelalterlichen norddeutschen Backsteine unter Berücksichtigung erforderlicher Schutzkaschierungen der Malerei abgestimmten Kompresse als Voraussetzung für die Anwendung chemischer Gipsbehandlungsverfahren²⁹.

1.5.2 Anpassung und Modifizierung anerkannter Verfahren zur Gipsumwandlung/ - passivierung für den Einsatz unter folgenden Bedingungen:

- Einschluß der Malschicht in eine glasige, transparente Gipskruste.
- Überlagerung der Verkrusteten Malschicht mit einer porösen, opaken Gipskruste.
- Erhebliche Reduzierung der mechanischen Belastbarkeit der Malschicht durch Abscheren vom Untergrund.
- Überlagerung von Gips- und Nitratbelastung bei Vorkommen von Blei- und Kupferpigmenten.
- Hohe Mobilität leichtlöslicher Salze aufgrund enormer Wasseraufnahmekoeffizienten des Untergrundes.
- Dauerhaft unter 20°C liegende Arbeitstemperaturen .

1.5.3 Passivierung der Schadenspotentiale der aufgrund von Verfahrensgrenzen und Kontraindikationen partiell in der Malerei zu belassenden Gipse durch Einrichtung eines selbstregelnden Klimamanagements.

- Vermeidung von Tauwasserbildung auf Oberflächen und Minimierung von Klimaschwankungen im Innenraum durch Konzeption und Einrichtung einer klimagesteuerten automatischen Lüftung.

²⁹ Siehe Abschnitt 2.2, Punkte 2.2.1.5, 2.2.2, und 2.2.3.2, S. 16 ff. Im konkreten Fall handelt es sich zwar um eine Malerei auf Putz. Bei einer mittleren Putzstärke von unter 1cm übersteigt jedoch die Saugspannung des Backsteins das Wasserrückhaltvermögen des Putzes deutlich (siehe auch [Arendt/ Schaft/ Schulze 1985, S. 30]).

2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

2.1 Vorbereitende und flankierende Maßnahmen am Objekt

Zur Unterbindung des Feuchteintrages in das Mauerwerk und zur Verringerung von Klimaschwankungen im Innenraum wurden in den Jahren 2001 bis 2004 umfangreiche Instandsetzungsarbeiten an der Gebäudehülle vorgenommen.

2.1.1

Zur Abklärung der Ursachen für den beschleunigten Verfall der Wandmalereien wurde im 2003 durch die Restauratoren Ulrike Hahn und Andreas Weiß eine Voruntersuchung durchgeführt und durch die Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen in persona Dr. Schlütter begleitet.

2.1.2

Im Zeitraum 2003 bis 2008 wurde der Vorzustand des gesamten Malereibestandes fotografisch, sowie durch Kartierung der Putz- und Malschichtschäden dokumentiert. Diese Dokumentation dient der Vorauswahl von Musterflächen für das Projekt, und stellt eine Grundlage für die Evaluierung der Projektergebnisse dar.

2.1.3

Zur Vorbereitung der Erarbeitung von Konservierungstechnologien wurde ein umfassendes Monitoring der klimatischen Bedingungen an den Wandmalereien im Jahreszyklus 2005/ 2006 durchgeführt³⁰. Diese Maßnahme wurde durch das Landesamt Denkmalpflege Mecklenburg Vorpommern³¹ begleitet.

2.1.4

Zur Stabilisierung des Raumklimas konnten 2008 weitere bauliche Maßnahmen abgeschlossen, bzw. durch weitere Voruntersuchungen für zukünftige Bauabschnitte vorbereitet werden: Beispielsweise werden im Hauptzugang durch die Westvorhalle mit dem Einbau von Windfangelementen mit automatisch schließenden Türen eine Klimaschleuse geschaffen, sowie die Südtür grundhaft instand gesetzt.

Als Grundlage für die Konzeption einer klimageführten Regelung für die Belüftung der Kirche wurde die natürliche Luftwechselrate von Kirchenschiff, Westvorhalle, Turmobergeschoß und Sakristei vermessen. Dabei kam ein in Deutschland erstmalig eingesetztes Tracer Gas passiv Sampling Verfahren nach ISO 16000-8:2007 zum Einsatz³², bei dem durch integrale Messung über einen Zeitraum von mehreren Wochen Meßunsicherheiten durch wechselnde Witterungsbedingungen kompensiert werden.

Einer Forderung des wissenschaftlichen Fachbeirates entsprechend, wurde eine externe Expertise zu bauphysikalischen und raumklimatischen Problemen der Kirche beauftragt³³.

2.1.5

Parallel zu den Arbeiten im DBU-Projekt wurden die Ergebnisse von Arbeitsproben zur Reinigung und Vorfestigung der Malschicht (Punkt 2.2.1.3) bei der Reinigung eines repräsentativen, über drei Schildwände ausgedehnten Bereiches der Malereien umgesetzt und überprüft. Die Entfernung Abnahme lose aufliegender Verschmutzungen und Salzausblühungen war ermöglichte deutlich detailliertere Beurteilung

³⁰ Ausführung durch Dipl. Restaurator (HS) Andreas Weiß.

³¹ Heute Abteilung Denkmalpflege im Landesamt für Kultur und Denkmalpflege Mecklenburg Vorpommern.

³² passive tracer gas technique der PENTIAQ AB Gävle.

³³ Ausführung durch Poul Klenz Larsen (PHD) von der Konservierungsabteilung des Dänischen Nationalmuseums, der aufgrund seiner umfangreichen Erfahrung mit vergleichbaren mittelalterlichen Kirchenbauten im südlichen Ostseeraum beauftragt wurde..

der Gipsbelastung/ -verkrustung der Malschicht. Auf diese Weise konnten geeignete Musterflächen für die Erprobung chemischer Gipsumwandlungsverfahren (Punkt 2.2.1.3) wesentlich gezielter ausgewählt werden.

2.2 Projektphase, Abschnitt 1

2.2.1 Anlage von Musterflächen für die Gipsbehandlung

Die bei der Anlage von Musterflächen für die Gipsbehandlung durchgeführten Arbeitsschritte, sowie die für die Auswahl der Flächen und der durchzuführenden Arbeitsproben erforderlichen Voruntersuchungen werden in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

2.2.1.0

a) Analyse und Dokumentation der flächigen Verteilung von Feuchte in den oberflächennahen Mauerwerksbereichen durch Rasterfeuchtemessung.

Die Feuchte in den oberflächennahen Mauerwerksbereichen ist nicht nur schadensrelevant, sondern auch bei der Abstimmung der Konservierungstechnologie und der Auswahl repräsentativer Musterflächen zu berücksichtigen. Die flächige Analyse erfordert den Einsatz zerstörungsfreier Meßverfahren. Die meisten etablierten Verfahren zur zerstörungsfreien Messung von Materialfeuchte werden jedoch stark durch Salze im Porenraum beeinflusst. Um derartige Störungen zu minimieren, kam ein Mikrowellenmeßverfahren zum Einsatz³⁴. Zur Kompensation von Meßfehlern durch Materialinhomogenitäten³⁵ wurde in einem Raster von 1/3m pro Meßpunkt ein Mittelwert aus drei Meßwerten erfaßt. Auf eine materialspezifische Kalibrierung wurde wegen der erforderlichen Probeentnahmen verzichtet, die Messung erfolgte mit einer voreingestellten Kalibrierkurve³⁶. Zur Kompensation von Meßfehlern aufgrund der starken Rauhtiefen der mittelalterlichen Putzoberflächen, sowie der unterschiedlichen Schichtdicken und Materialien der Putze wurde mit einer Volumensonde bis in 30cm Mauertiefe gemessen³⁷.

b) Zur Verifizierung der Rasterfeuchtemessung, sowie zur Differenzierung der Feuchteverteilung Mauerquerschnitt werden stichprobenartig Feuchtemessungen im Tiefenprofil vorgenommen.. Entsprechend dem Stand der Technik sollte dies zunächst gravimetrisch durch Darrfeuchtemessungen an Bohrmehlproben erfolgen. Aktuelle Erkenntnisse relativieren jedoch die Verlässlichkeit dieser Methode an mittelalterlichen Backsteinmauerwerken³⁸. Zu ihrer Objektivierung wurde deshalb folgende Ergänzung des Arbeitsplanes erforderlich:

³⁴ MOIST 200B von hf-sensor.

³⁵ Nach Herstellerangaben (mündliche Auskunft von Dr. Göller 2007) wird das Meßergebnis sowohl durch Dichteunterschiede, als auch durch die elektrischen Materialeigenschaften beeinflusst. Aus diesem Grunde ist eine materialspezifische Kalibrierung erforderlich, wobei die Kalibrierkurven resonanzabhängig und nicht interpolierbar sind.

³⁶ Verwendet wurde die Kalibrierung „Altziegel“, hier die mit 20% angegebene Sättigungsfeuchte etwa der mutmaßlichen Sättigungsfeuchte des mittelalterlichen Backsteins entsprach. Die mit 1,25 kg/dm³ angegebene Rohdichte des Referenzmaterials liegt jedoch deutlich unter der mutmaßlichen Rohdichte des mittelalterlichen Ziegels von ca. 1,6 bis 1,8 kg/dm³.

³⁷ Aufgrund der unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten von Wasser und Luft wird die Messung durch Luftschichten zwischen Sensor und Meßgut gestört.

³⁸ Anhand unveröffentlichter Ergebnisse von Vergleichsmessungen mit einer kapazitiven Tiefensonde aus der Bodenfeuchteanalytik, die in den Jahren 2007/ 2008 durch den Verfasser im Rahmen des DBU-Forschungsprojektes AZ 23375 (Sanierung des durch Grünalgenbefall geschädigten Putzes der Poseritzer Kirche) und der Masterarbeit von Anne Wilhelmi an der FH Potsdam vorgenommen wurden, ist davon auszugehen, daß aufgrund der Inhomogenitäten

c) Adaption eines kapazitiven Tiefenmeßsystems aus der Bodenfeuchteanalytik für die Mauerfeuchteanalyse. Dabei wurden in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit der Konservierungsabteilung des Dänischen Nationalmuseums Kopenhagen³⁹ folgende Punkte untersucht:

- Einfluß von des Materialschlusses zwischen Sonde und Meßgut auf das Meßergebnis⁴⁰;
- Abfall der Empfindlichkeit bzw. Erfassungsbereich bei Messungen im Mauerwerk;
- Einfluß von löslichen Salzen auf das Meßergebnis;
- Kalibrierung für Messungen im Mauerwerk;
- Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse.

2.2.1.1

- Bindemittelanalysen zur Abschätzung möglicher Einflüsse von bei der Restaurierung um 1900 eingebrachten Konservierungsmaterialien auf die Schadgenese. Hier wurden zunächst vergleichende Analysen in von Malereipartien vorgenommen, bei denen die Morphologie der Salzausblühungen die Verwendung unterschiedlicher Bindemittel, bzw. die partielle Überarbeitung mit Binde- bzw. Festigungsmitteln erwarten ließen. Die Analysen erfolgten bisher mikrochemisch oder/ und gaschromatografisch.

2.2.1.2

- Bauhistorische Schadensanalyse des aufgehenden Mauerwerks (siehe Ausarbeitung von Jens Christian Holst in der Anlage)

2.2.1.3

- Pigmentanalysen der Malschichten zur Lokalisierung von Blei- und Kupferpigmenten. Dabei wurden stichprobenartig sowohl für die Fassung der bis 1902 erfolgten Restaurierung, als auch, soweit erkennbar, für das mittelalterliche Original alle visuell unterscheidbaren Gelb-, Grün-, und Blautöne an der Chorsüdwand, der Westwand des südlichen Querhauses und der angrenzenden Pfeilerbereiche untersucht. Die Analysen erfolgten nach Erfordernis mikrochemisch oder/ und gaschromatografisch.

- Abgrenzung von Malereipartien mit Kontraindikation⁴¹ für chemische Gipssumwandlungsverfahren;

- Arbeitsproben zur Reinigung und Vorfestigung der Malschicht;

- Festlegen von Musterflächen für die Erprobung chemischer Gipssumwandlungsverfahren exemplarisch auf dem mittelalterlichen Originalputz und den Putzergänzungen der letzten Restaurierung.

2.2.1.4

- Analysen zur Erfassung der mikrobiellen Besiedelung vor Beginn der Arbeitsproben

Bei den 2003 durchgeführten Voruntersuchungen konnte an den Wandmalereien keine erhöhte mikrobielle Belastung festgestellt werden⁴². Da die mikrobielle Belastungssituation zudem stark von der raumklimatischen Situation bestimmt wird, wurden zum Vergleich mit der mikrobiellen Besiedelung nach den Konservierungsmaßnahmen zur gleichen Zeit entnommene Blindproben aus unbehandelten Wandbereichen herangezogen.

vorindustrieller Backsteine bei Darrfeuchtemessungen nicht von einer Bohrung auf das umgebende Mauerwerk geschlossen werden kann.

³⁹ in persona Poul Klens Larsen.

⁴⁰ Zur Absicherung der Testergebnisse war eine größere Anzahl von Meßbohrungen erforderlich, die aufgrund der Wertigkeit des Objektes nicht ausschließlich an der Marienkirche Bergen realisiert werden konnten. Tests erfolgten deshalb auch an der Dorfkirche Poseritz und an der Villa Schöningen in Potsdam..

⁴¹ Durch Unverträglichkeiten mit Blei- und Kupferpigmenten.

⁴² Die Keimzahlen der auf den Wandmalereien gezogenen Proben entsprachen den lediglich durch die Raumluft kontaminierten Blindproben .

2.2.1.5

- Anlegen von Arbeitsmustern für die Festigung der Malschicht
 - zur Ermittlung geeigneter Materialien/ Technologien;
 - zur Beurteilung ihrer Standfestigkeit im Jahreszyklus;
 - zur Beurteilung ihrer Kompatibilität mit den Gipsumwandlungsmethoden

Für eine Vorauswahl wurden zunächst Handproben mit folgenden, geeignet erscheinenden Festigungsmitteln angelegt.

1.0 – Kasein

1.1 – Paraloid B72 2,5%ig in Azeton

1.2 – Klucel E in Spiritus 4%ig

1.3 – Tylose MH 1000 2,5%ig in Wasser

1.4 – Klucel E 4%ig in Wasser + Syton X30 + Wasser 1:1:1

1.5 – Klucel E 4%ig in Wasser + Syton X30 + Wasser 1:1:2

2.5 – Klucel E 4%ig in Wasser + Syton X30 + Wasser 1:1:2

Nach einer Standzeit von 8 Wochen wurde zunächst die Kompatibilität mit der für die Entsalzung und die Ammoniumkarbonatbehandlung favorisierten Kompressenmaterialie getestet. Dazu wurden die Proben jeweils zur Hälfte mit einer wassergefüllten Zellulosefaserkompressenmaterialie über einer Japanpapierkaschierung belegt. Die Kompressen wurden bis zur vollständigen Durchtrocknung auf der Oberfläche belassen.

2.2.1.6

- Anlegen von Arbeitsmustern zur reversiblen und kapillaraktiven Schutzkaschierung der Malerei für die Kompressenbehandlungen auf den Musterflächen aus Punkt 2.2.1.3 (Kombinationen konfektionierter Japanpapiere und Zellulosekleber, Beschichtungen mit Zellulosefilmen ohne Fasereinlage, Auswertung im Zusammenhang der Versuche zur Entsalzung und Gipsbehandlung unter Punkt 2.2.3.3 bis 2.2.3.5)

2.2.2 Erfassung von Materialkennwerten

Zur Abstimmung der Saugspannung zwischen Malgrund und der für die Gipsumwandlung und die Salzextraktion zu optimierenden Kompressenmaterialien waren Untersuchungen folgender Kennwerte vorgesehen:

2.2.2.1

- kapillare Wasseraufnahme von Putz und Backstein unter Berücksichtigung der Vorfestigungen und Schutzkaschierungen;
- Penetrationstiefe von Wasser bzw. wäßrigen Lösungen der Reagenzien und Reaktionsprodukte der zu testenden Gipsumwandlungsmethoden

2.2.2.2

- Wasseraufnahmekoeffizienten von Kompressenmaterialien

Die Penetrationstiefen der wäßrigen Lösungen wurden im Zuge der Erfolgskontrollen zur Kompressenent- und -ent- salzung im oberflächennahen Tiefenprofil anhand von Bohrmehlproben untersucht.

Die weiteren Untersuchungen erübrigten sich, nachdem bereits durch die Handproben zur Vorauswahl der zu testenden Kompressenrezepturen geeignete Kompressen ermittelt werden konnten. Aus diesem Grunde wurde nur die Untersuchung der kapillaren Wasseraufnahme des Malgrundes über die Maleroberfläche als Instrument für die Bewertung von Gipsumwandlungs- und Festigungsmethoden, weiter verfolgt. Aufgrund der besonderen Anforderungen, die sich dabei aus der Messung über die fragile Malschichtoberfläche ergaben, wurden folgende Meßverfahren alternativ getestet:

- Prüfröhrchen nach Karsten

Nach Stand der Technik wird die kapillare Wasseraufnahme in situ mit Prüfröhrchen nach Karsten ermittelt, die mit einem Dichtungskitt an der Prüfzelle befestigt werden. Die fragile Malschicht hält jedoch den Belastungen durch den Dichtungskitt nicht stand, bzw. wird durch fettige Absonderungen aus dem Kitt beschädigt. Eine alternativ untersuchte Befestigung und Andichtung der Röhrchen bei gleichzeitiger Sicherung der Malschicht mit einer Schmelze aus Cyclododekan erwies sich als nicht geeignet. Aufgrund der Sprödigkeit des Cyclododekans und der für die Andichtung erforderlichen Schichtdicke rissen die Prüfröhrchen in allen Versuchen vor Abschluß der Messung von der Wand. Die Benetzungsfläche beträgt theoretisch⁴³ ca. 19,64 cm², die Wassermenge läßt sich in 0,05ml-Schritten ablesen. Daraus ergibt sich eine Auflösung von ca. ca. 0,026kg/m²

- ein Wasserbenetzungsgerät zur Bestimmung der Saugfähigkeit von Oberflächen poröser Baustoffe nach Leonhard und Lukas [Leonhard und Lukas 1990];

Bei diesem Gerät wird im Prinzip eine definierte Wassermenge unter definiertem Druck und aus definierter Entfernung auf die zu untersuchende Oberfläche gesprüht. Die Saugfähigkeit der Oberfläche wird als Quotient der aufgenommenen Wassermenge und der benetzten Fläche beschrieben. Das weitgehend berührungsfreie⁴⁴ Meßverfahren war zunächst insbesondere für fragile und ungefestigte (pudernde) Malschichtbereiche favorisiert worden. Der vom Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen freundlicherweise zur Verfügung gestellte Prototyp des Wasserbenetzungsgerätes erwies sich jedoch als ungeeignet, da mit den verfügbaren Sprühdüsen bei dem im Gerät maximal erreichbaren Druck keine ausreichende Vernebelung des auf die Maleroberfläche gebrachten Wassers möglich war. Ein Teil der kleinstmöglichen einsetzbaren Wassermenge lief jeweils vor Aufnahme durch die Oberfläche von der Benetzungsfläche ab, sodaß keine Auswertung vorgenommen werden konnte.

- Kapillartränkungsprüfer nach Ryszard Mirowski Patent 125504

Bei der Messung mit dem Kapillartränkungsprüfer nach Mirowski wird Wasser aus einer vertikalen, am oberen Ende verschlossenen Pipette über einen Kontaktschwamm auf die zu untersuchende Oberfläche gebracht. Die Saugfähigkeit der Oberfläche wird anhand der pro Zeiteinheit aufgenommenen Wassermenge bestimmt. Die Kontaktfläche beträgt ca. 0,95cm², die Wassermenge ist in 0,05 ml-Schritten ablesbar. Daraus ergibt sich eine Auflösung von ca. 0,53kg/m². Aufgrund der überwiegend geringen Saugfähigkeit der untersuchten Oberflächen erwies sich dieses Meßverfahren für vergleichende Untersuchungen als zu ungenau, die ermittelte Wasseraufnahme lag zwischen 0 und 0,34 kg/m²h^{0,5}.

- die Kontaktschwamm-Methode nach Pamplona et.al. [Pamplona et. al. 2008].

⁴³ Entsprechend der Öffnung des Prüfröhrchens. Die tatsächliche Benetzungsfläche wird durch die Ausbreitung des Dichtungskitts bestimmt.

⁴⁴ Die Malschicht wird, von der aufgebrachten Wassermenge abgesehen, lediglich mit drei punktförmigen Abstandhaltern berührt.

Bei dieser Methode wird ein mit einer definierten Wassermenge beaufschlagter Kosmetikschwamm auf die zu untersuchende Oberfläche gedrückt. Der Schwamm ist bis auf die Kontaktfläche gekapselt, der Durchmesser der Kontaktfläche beträgt 5cm. Die Saugfähigkeit der Oberfläche wird durch die pro Zeiteinheit aufgenommene Wassermenge bestimmt, die durch Wägung des Schwammes mit einer Mikrogrammwaage vor und nach dem Saugversuch ermittelt wird. Bei einer Kontaktfläche von ca. 19,64 cm² und einer empirisch ermittelten Reproduzierbarkeit der eingesetzten Waage von +/-0,005g liegt die Auflösung der Methode bei ca. 0,005kg/m². Diese Methode ist bei einem ähnlichen Meßprinzip wesentlich präziser, als der Kapillartränkungsprüfer nach Mirowski. Allerdings saugen sich die Schwämme an der Malschichtoberfläche fest, sodaß es auf ungefestigten Malschichtpartien zu erheblichen Malschichtverlusten kommen kann. Bei Testmessungen an verschiedenen Oberflächen in Schritten von einer Minute wurde eine starke Abnahme der Wasseraufnahme nach Ablauf der ersten Minute festgestellt. Aus diesem Grunde wurde die Meßdauer auf jeweils 1 Minute beschränkt. Pro zu beurteilender Oberfläche wurden in der Regel 3 Einzelmessungen vorgenommen. Insgesamt wurden an 35 Meßstellen 169 Einzelmessungen durchgeführt. Die ermittelte Wasseraufnahme lag zwischen 0,06 und 0,30kg/m²h^{0,5}

2.2.3 Arbeitsproben zur Gipsbehandlung

Die nach Auswertung der Voruntersuchungen vorgenommene Vorauswahl von Konservierungsstrategien und -technologien⁴⁵ wurde zunächst in Handproben auf ihre grundsätzliche Eignung, sowie erforderliche Anpassungen getestet. Im Ergebnis der Handproben selektierte Technologien wurden anschließend in größeren Arbeitsproben in den Musterflächen aus Punkt 2.2.1.3. umfassend auf ihre Praxistauglichkeit geprüft. Die folgenden Unterpunkte geben einen Überblick über die durchgeführten Arbeitsproben.

2.2.3.1 Arbeitsproben zur Reduzierung aufliegender Gipskrusten mit Laserstrahlen.

2.2.3.2 Optimierung der verfügbarer Kompressenrezepturen

Zur Vorauswahl für die Anwendung auf der Wandmalerei geeigneter bzw. modifizierbarer Kompressenrezepturen wurden zunächst Handproben mit bentonithaltigen Kompressen nach Ettl und Wendler, sowie Kompressen aus Arbocel[®] Zellulosefasern unterschiedlicher Konsistenz mit veränderlichen Anteilen von Superabsorber⁴⁶ durchgeführt.

Aufgrund festgestellter Risiken bei der Anwendung auf den Wandmalereien wurden die bentonithaltigen Kompressen nicht weiter verfolgt⁴⁷. Die detaillierte Beprobung der Zellulosekompressen erfolgte im Zusammenhang mit der Wirkstoffapplikation wie unter 2.2.3.5 beschrieben.

Zum Schutz der Malschicht und zur Absicherung einer rückstandslosen Entfernung wurden alle Kompressenmaterialien über einer Trennlage aus Japanpapier aufgebracht.

Nachdem sich die Verwendung von Zelluloseklebern, sowohl zur Vorfestigung der Malschicht, als auch zur Applikation der Japanpapiere aus den unter 3.4.3 genannten Gründen sich als kontraproduktiv erwies, wurden die Japanpapiere nur mit demineralisiertem Wasser und mit Hilfe eines Pinsels möglichst lückenlos an die Struktur der Wand angearbeitet.

⁴⁵ Vgl. Abschnitte 1.3 und 1.4, S. 8 ff.

⁴⁶ Superabsorber werden als Bestandteil industriell hergestellter Produkte, wie Einwegwindeln etc. verarbeitet. Sie sind deshalb in Kleinstmengen regulär nicht beschaffbar. Aus diesem Grunde wurden für die Arbeitsproben Superabsorber aus Einwegwindeln entnommen.

⁴⁷ Siehe Abschnitt 3.4.4.

2.2.3.3 Arbeitsproben zur Kompressenextraktion von leichtlöslichen, hygroskopischen Salzen.

Zur Abschätzung der Effektivität und Tiefenwirksamkeit der Entsalzung im Zusammenhang mit der Gipsbehandlung durch Ammoniumkarbonat wurden folgende Parameter untersucht:

- Die Salzbeladung der Kompressen im Vergleich der einzelnen Kompressendurchgänge.
- der Feuchte- und Salzgehalt des behandelten Mauerwerks im oberflächennahen Tiefenprofil.

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Entsalzungskompressen auf latent in der Malschicht belassene Vergipsungen wurden zahlreiche Handproben auf unterschiedlich geschädigten und vorbehandelten Malschichtpartien appliziert.

2.2.3.4/ Arbeitsproben zur chemischen Reduzierung der aufliegenden Gipskrusten, sowie zur chemischen Umwandlung bzw. Passivierung des Gipses in der Malschicht⁴⁸.

Bei den Arbeitsproben wurde entsprechend einer Risikobewertung aller fraglichen Methoden mit Ionenaustauscherharzen und mit der Ammoniumkarbonatmethode begonnen, da hier die geringsten Risiken zu erwarten waren⁴⁹.

Die Erfolgskontrolle wurde durch analytische Baustoffmikroskopie, quantitative Bestimmung der Ionenbilanzen an Materialproben aus Kompressen⁵⁰ und Malgrund (Putz/ Mauerwerk)⁵¹ vorgenommen.

Zunächst wurden, konzentriert auf Problemzonen, in verschiedenen Bereichen mit möglichst unterschiedlicher Ausprägung der Vergipsung bzw. Schädigung Handproben zur Gipsumwandlung vorgenommen⁵². Nach Abkehren der lose aufliegenden Salzausblühungen kamen dabei Cellulosekompressen mit folgenden Wirkstoffen zum Einsatz:

- H₂O - Neutralkompressen
- Ammoniumcarbonat, gesättigte. Lösung
 - Nachbehandlung mit H₂O - Neutralkompressen
 - Nachbehandlung mit Bariumhydroxid und Ammoniumoxalat
- Ionenaustauscher Amberlite 4400 OH⁻
- Ionenaustauscher Powdex CO₃²⁻ geladen
- Ionenaustauscher Dowex Cl, nach CO₃²⁻ umgeladen (200-400 mesh)
- AMBERLITE Mischbettionenaustauscher OH⁻ und H⁺

Neben den Wirkstoffkomponenten wurde eine Vielzahl von Varianten der Kompressenzusammensetzung und –applikation vorgetestet, unter anderen Varianten

- mit und ohne Schutzkaschierung aus Japanpapier
- mit unterschiedlichen Anteilen von Arbocel[®] BC 1000 und Arbocel[®] BC 200

⁴⁸ Da aufgrund der Tiefenwirkung bei der Mehrzahl der fraglichen Verfahren nicht zwischen aufliegenden Gipsschleiern und Vergipsungen in der Malschicht zu differenzieren ist, wurde der ursprüngliche Ansatz einer differenzierten Behandlung zugunsten einer integrierten Vorgehensweise aufgegeben.

⁴⁹ Vgl. Abschnitte 1.3, S. 8 ff. und 1.4 S. 11 ff.

⁵⁰ Quantitative Bestimmung von An- und Kationen an je 2 Proben aller 3 bzw. 4 Kompressendurchgänge (mit und ohne Superabsorber). Für die Beprobung wurde jeweils ein Segment von 10x10cm aus der Mitte der Kompresse (40x40cm) entnommen.

⁵¹ Quantitative Bestimmung von An- und Kationen vor und nach der Kompressenbehandlung an Bohrmehlproben aus je 3 Segmenten.

⁵² Ausmaß jeweils ca. 7x7 cm.

- mit Abdeckung durch Naßkompressen mit und ohne Zugabe von Superabsorber
- mit Folienabdeckung

Dabei sollten vor allem die Einflüsse der Schutzkaschierung, der Korngröße der Cellulose und der Einwirkzeit auf die Funktion der Komresse untersucht werden. Die Bewertung der Proben erfolgte vorrangig anhand folgender Parameter:

- Handhabbarkeit/ Praktikabilität des Kompressenantrages
- Kapillarkontakt zur Oberfläche
- Effektivität der Einwirkung

Die Kompressen wurden bis zur Abtrocknung auf der Oberfläche belassen.

Die Handproben zur Gipsumwandlung durch anionische Ionenaustauscherharze erfolgten in Bereichen mit relativ dünnen Gipskruste bzw. im Bereich der Hintergründe, wo blaue bzw. grüne Farbreste der mittelalterlichen Malerei nicht ausgeschlossen werden können. Dabei wurden prinzipiell folgende Verfahrensweisen getestet und bewertet:

- Ionenaustauscherharze in demineralisiertem Wasser angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen;
- Ionenaustauscherharze in wäßriger Lösung von Tylose[®] MH 1000⁵³ angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen;
- Ionenaustauscherharze in wäßriger Lösung von Tylose[®] C 300⁵⁴ angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen.

Zur Abschätzung der Chancen und Risiken der Kompressenextraktion löslicher Salze wurden die mit Ionenaustauscherharzen behandelten Flächen partiell mit Wasserkompressen unterschiedlicher Zusammensetzung⁵⁵ nachbehandelt.

In strukturell stark geschädigten Malschichtpartien wurden die unter 2.2.1.5 beschriebenen Vorfestigungsmethoden im Zusammenhang mit der Gipsumwandlung mit Ammoniumkarbonat, sowie mit den Ionenaustauscherharzen 4400 OH-, Powdex CO32- und Dowex CO32- umgeladen getestet.

Ein spezifisches Problem bei der Gipsumwandlung mit Ammoniumkarbonat stellen die in Malschicht und Bildträger verbleibenden Reaktionsprodukte dar, die zu erneuter Gipsbildung führen können. Sie müssen deshalb extrahiert, oder mit Bariumhydroxid passiviert werden. Aufgrund der konkreten Risiken bei der Anwendung der Bariumhydroxidmethode⁵⁶ wurden zunächst die Möglichkeiten der Kompressenextraktion, sowie eine Absperrung des Untergrundes mit Cyclododekan untersucht, die das Ausschwemmen der Reaktionsprodukte in den Untergrund verhindern soll.

Die Arbeitsproben wurden parallel auf dem mittelalterlichen Putz und dem mutmaßlich bei der Restaurierung unter Oetken aufgebracht Putz ausgeführt. Die Wirkstoffapplikation erfolgte in einem Durchgang mit Kompressen aus Arbocel[®] BC 1000 und BC 200 im Verhältnis 1:1, die mit gesättigter

⁵³ Als Antragshilfe und Kontaktmittel

⁵⁴ Auswahl aufgrund des von Jägers beschriebenen Kalciuimbindevermögens [Jägers 1994]

⁵⁵ Arbocel[®] BC 1000 + Arbocel[®] BC 200 1:1 mit und ohne Superabsorber, jeweils über Japanpapier angetragen.

⁵⁶ Vgl. Abschnitt 1.3.3, S. 9..

Ammoniumkarbonatlösung angeteigt auf eine frisch applizierte Japanpapierkaschierung aufgetragen wurden. Dabei wurden jeweils Flächen von ca. 40x40cm belegt⁵⁷. Nach einer durchschnittlichen Einwirkzeit von 1h wurden die Ammoniumkarbonatkompressen abgenommen und unmittelbar danach durch Wasserkompressen mit gleicher Zusammensetzung der Träger ersetzt. Diese Neutralkompressen wurden nach vollständiger Durchtrocknung entfernt. Nach Abreinigen eines auf der Malschichtoberfläche gebildeten Weißschleiers wurden zwei weitere Neutralkompressen mit jeweils variierenden Anteilen von Superabsorber aufgebracht und bis zur Durchtrocknung auf der Oberfläche belassen. In einem Probefeld wurde eine vierte Neutralkompresse aufgebracht, je zur Hälfte mit und ohne Superabsorber. Die Kompresse wurde 11 Tage nach Durchtrocknung abgenommen.

2.2.3.6

- Mikrobiologische Analysen zur Abschätzung der Beeinflussung mikrobieller Aktivitäten durch die Arbeitsproben

Bei den Analysen wurden an vor Ort entnommenen Abklatschproben nach Kultivierung im Labor Keimzahlen und Arten bestimmt.

2.2.4 Musterachsen für die Retusche

Für die Zielbestimmung der Restaurierung und die Kostenermittlung wurde auf Musterflächen aus Punkt 2.2.1.3 eine Musterachse für die Retusche der Malerei angelegt.

2.2.5 Voruntersuchungen zur Stabilisierung des Raumklimas durch geregelte Lüftung

Während des Klimamonitorings (Punkt 2.1.3) wurden die stärksten Schwankungen des Raumklimas durch unkontrollierte Luftwechsel hervorgerufen⁵⁸. Diese sollen durch eine klimagesteuerte automatische Belüftung der Kirche reduziert werden. Unter den Geboten der Nachhaltigkeit und Modellhaftigkeit wird eine kostengünstige, technisch anspruchslose Lösung unter Ausnutzung natürlicher, am Gebäude entstehender Druckdifferenzen angestrebt⁵⁹. Da einerseits die Luftführung über Fensteröffnungen aufgrund erforderlicher Sicherungen gegen Schlagregen- und Sturmschäden zusätzliche und störanfällige Regelelemente erfordert und andererseits bauliche Eingriffe so gering wie möglich gehalten werden sollen, wurde alternativ die Luftführung über vorhandene Kanäle der ehemaligen Warmluftheizung untersucht. Zu diesem Zweck wurden die teilweise zugesetzten Kanäle geöffnet und ihre natürliche Lüftungsleistung ermittelt. Dazu wurde entsprechend Punkt 2.1.4 die natürliche Luftwechselrate des Raumes bei geöffneten Kanälen gemessen und mit der Luftwechselrate im Vorzustand verglichen.

2.3 Evaluierung und Praxiserprobung aktueller Erkenntnisse

⁵⁷ Diese Größenordnung war erforderlich, um unter Berücksichtigung der im Randbereich eintretenden Unschärfen eine für die Untersuchung der Wirkung der Kompresse repräsentative Fläche zu erhalten.

⁵⁸ Dies betrifft im Wesentlichen sowohl willkürliche Lüftung durch offene Türen, als unwillkürliche Einflüsse, wie von Besuchern offengelassene Türen oder die Infiltration durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle.

⁵⁹ Lüftungsbedingte Klimaschwankungen als Ursache für Schäden an Kunst- und Kulturgütern sind ein verbreitetes Problem in den Kirchen der Region. Aufgrund der größtenteils prekären Finanzlage der Kirchengemeinden sind die Kosten ein wesentliches Kriterium für die Modellhaftigkeit von Lösungsansätzen.

Die Ergebnisse des Projekts wurden regelmäßig durch den wissenschaftlichen Fachbeirat, das Landesamt für Kultur und Denkmalpflege, sowie das Bauamt der Pommerschen Evangelischen Kirche. Evaluiert.

Parallel zur Bearbeitung des ersten Projektabschnittes in der Marienkirche Bergen erfolgte die Konservierung und Restaurierung gipsbelasteter Gewölbemalereien in der Stadtkirche Teterow. Eine Beteiligung an diesem Auftrag ermöglichte sowohl eine breiter angelegte Prüfung der Praxisauglichkeit der in den Arbeitsproben in Bergen gewonnenen Erkenntnisse, als auch das Abrunden der Projektergebnisse in Bergen durch Einbeziehung relevanter Informationen aus Teterow.

Die Praxiserprobung der Erkenntnisse zur Konservierungstechnologie der Malereien erfolgt im Bauabschnitt 2010 (Pilotabschnitt) der Maßnahmen zur Konservierung der Wandmalereien in der Marienkirche Bergen.

2.4 Projektphase, Abschnitt 2

2.4.2

- Aufstellung der Konservierungs- und Restaurierungskonzeption

2.4.3

- Konzeption und technische Realisierung einer klimagesteuerten Lüftungsanlage auf Grundlage der Ergebnisse des Klimamonitorings (Punkt 2.1.3) und der Untersuchungen zur natürlichen Luftwechselrate (Punkt 2.1.4), sowie zur Verwendbarkeit vorhandener Kanäle (Punkt 2.2.5)

2.4.4

- Monitoring ausgewählter Klimawerte im Jahreszyklus zur Justage und Funktionskontrolle der Lüftungsanlage

3 Ergebnisse

3.1 Bauhistorische Schadensanalyse

Siehe Ausarbeitung von Jens Christian Holst in der Anlage.

3.2 Zu bauphysikalischen, materialkundlichen und kunsttechnologischen Sachverhalten

3.2.1 Flächige Verteilung von Feuchte und hygroskopischen Salzen

Die Visualisierung der Ergebnisse der Rasterfeuchtemessung an den Schildwänden von Chorquadrat und Querhaus⁶⁰ (Punkt 2.2.1.0 a)) zeigt eine sehr differenzierte Feuchteverteilung, deren Ursachen zunächst nicht in allen Bereichen nachvollziehbar waren. Bei der Interpretation wurden zunächst die klimatischen Randbedingungen, sowie die baulichen Gegebenheiten in Betracht genommen.

Im Ergebnis des Klimamonitorings (Punkt 2.1.3) wurden zwar⁶¹ keine deutliche Zonierung des Raumklimas, jedoch klare Unterschiede in der Kondensatbelastung der Wandoberflächen zwischen den einzelnen Meßpunkten festgestellt⁶². Dabei wies die vollständig von der Raumluft umspülte Wandscheibe zwischen südlichem Querhaus und südlichem Seitenschiff die geringste Kondensatbelastung auf. Da hier überdies von außen eindringendes Wasser auszuschließen ist, wurden die in diesem Bereich gemessenen Werte der Mauerfeuchte als Normal- bzw. Ausgleichsfeuchte eingestuft.

Davon ausgehend sind deutlich erhöhte Feuchtwerte vor allem in den unteren Wandbereichen bis 4m, in der Südwestecke und an der Ostwand des Südquerhauses, in der Nordostecke des Nordquerhauses, sowie in Bereichen mit Dachanschlüssen auf der Außenseite zu verzeichnen. Diese erhöhten Feuchtwerte sind jedoch nicht durchgehend mit klimatischen Einflüssen und/ oder baulichen Gegebenheiten zu erklären, auch wenn im Ergebnis des Klimamonitorings von einem, sehr wahrscheinlich durch die Schlagregen und Kondensatbelastung der äußeren Bauwerksoberflächen bedingten, kontinuierlichen Feuchteeintrag aus der Raumschale in die Raumluft ausgegangen werden muß⁶³. Unterschiede in der Kondensatbelastung der äußeren Bauwerksoberflächen sind in Abhängigkeit von der Ausrichtung der Flächen zwar anzunehmen, werden jedoch nicht signifikant durch die an den Innenseiten der Mauern gemessenen Feuchtegehalte⁶⁴

⁶⁰ Mit Ausnahme der nach Abbruch der Seitenapsiden ergänzten Wandscheiben der Querhausostwände.

⁶¹ Mit Ausnahme der durch Infiltration durch die Südtür beeinflussten bodennahen Bereiche des Südquerhauses und basierend auf Klimadaten, die an 8 Meßpunkten im Chor und im südlichen Querhaus erfaßt wurden.

⁶² Hier wurde die Dauer von Betaungsperioden verglichen, nicht jedoch die tatsächlich angefallenen Tauwassermengen. Dabei wurde die Taupunktunterschreitung aus dem Wassergehalt der Luft im Nahfeld und der Oberflächentemperatur berechnet. Bei dieser Berechnung wird für die Luft an der Grenzschicht zur Oberfläche der gleiche Wassergehalt angenommen, wie für die Luft im Nahfeld. Tatsächlich ist jedoch mit Gradienten des Wassergehaltes der Luft infolge Absorptions- und Desorptionsvorgängen an der Oberfläche zu rechnen. Diese Gradienten sind allerdings mit bisher verfügbaren Sensoren nicht sicher meßbar.

⁶³ An allen 4 Meßpunkten waren nahezu kontinuierlich Gradienten im Wassergehalt der Luft zwischen Oberfläche und Nahfeld festzustellen. Die wenigen und sehr kurzen Perioden mit umgekehrten Gradienten konnten weitgehend nutzungsbedingten Feuchteinträgen (Lüftung, Emissionen durch Besucher) zugeordnet werden.

⁶⁴ Hier wären vor allen temperaturbedingte Unterschiede zu betrachten. Aufgrund der enormen und verhältnismäßig gleichen Mauerstärken sind dabei innere Einflüsse zu vernachlässigen. Äußere Oberflächen mit Süd- und Westausrichtung werden zwar durch vermehrte Sonneneinstrahlung stärker aufgeheizt, kühlen durch erhöhte Windbelastung jedoch auch stärker aus, als Flächen mit Nord- und Ostorientierung. Die Feuchtwerte auf den Innenseiten zeigen jedoch keine eindeutige Korrelation mit der Ausrichtung der Wandscheiben. Vom Verfasser an den Fassaden der Schloßkirche Putbus ermittelte Betaungsperioden ergaben die größte Belastung an der Ostseite, die niedrigste an der Südseite. Die Nordseite wurde dort nicht untersucht [Weiß und Johannsen 2007].

abgebildet. Die Belastungen durch Schlagregen, Spritz- und Ablaufwasser, sowie kapillar aufsteigender Feuchte dürften sich besonders an den West- und Südseiten⁶⁵, sowie im Sockelbereich und im Bereich von Dachanschlüssen auswirken. Sie erklären aber nicht die zum Teil deutlich erhöhten Feuchtwerte in Nord- und Ostwandbereichen, sowie in den unteren Wandbereichen zwischen 2 und 4m Höhe. Stichprobenartige Überprüfungen der Meßwerte durch gravimetrische Feuchtemessungen an Bohrmehl im Tiefenprofil, ergänzt durch Salzanalysen, deuten jedoch an, daß durch das Mikrowellenmeßverfahren vor allem die durch Salze gebundene hygroskopische Feuchte an der Oberfläche abgebildet wurde. Die Überprüfung eines Teilbereiches durch Vergleich mit kapazitiver Feuchtemessung bestätigt dies⁶⁶ ebenso, wie im Projektzeitraum an der FH Potsdam durchgeführte Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verwendeten Mikrowellensonden⁶⁷. Somit liefert die Visualisierung der Feuchteverteilung zugleich eine Information über die flächige Verteilung der hochhygroskopischen Salze auf den Wandoberflächen. Dies ist von besonderer Bedeutung, da es sich dabei nach bisherigen Erkenntnissen hauptsächlich um Nitrate handelt, die sowohl Einflüsse auf die Schadgenese haben, als auch eine Kontraindikation für bestimmte Konservierungstechnologien darstellen.

Rückschlüsse auf die Feuchtegehalte in Mauertiefen jenseits von 5cm lassen die Ergebnisse der Rasterfeuchtemessung somit nicht zu. Zur Abklärung dieser Frage wurden ergänzende Mauerfeuchtemessungen im Tiefenprofil vorgenommen.

3.2.2 Einfluß von hygroskopischen Salzen auf gipsbedingte Malschichtschäden

Vergleiche der Salzschäden mit der Visualisierung der flächigen Verteilung der hygroskopischen Salze, sowie stichprobenartige manuelle Abgleiche lokaler Meßwerte zur Oberflächenfeuchte mit der Ausprägung und Intensität der Salzschäden zeigen einen überraschenden Zusammenhang: Bereiche mit hohen Oberflächenfeuchten, d.h. mutmaßlich hohen Konzentrationen hygroskopischer Salze korrelieren tendenziell mit eher gering geschädigten, hauptsächlich verglasten Malschichtbereichen. Bereiche mit niedrigen Oberflächenfeuchten, d.h. mit mutmaßlich geringer Konzentration hochhygroskopischer Salze korrelieren hingegen tendenziell mit stärker durch Salzausblühungen geschädigten Malschichtbereichen.

Augenscheinlich führen hohe Konzentrationen hygroskopischer Salze an der Oberfläche zu einer Pufferung der klimabedingten Feuchteschwankungen im Bereich der vergipsten Malschicht, während in Bereichen mit niedriger Konzentration hygroskopischer Salze Klimaschwankungen der Raumluft stärkere Feuchteschwankungen in der Malschicht bewirken. In der Folge auftretende Quell- und Schwindbewegungen des Gipses bis hin zu Kristallisationszyklen haben hier zu stärkeren Malschichtschäden geführt.

3.2.3 Pigment- und Bindemittelanalysen der Malschicht

Bei vergleichenden Bindemittelanalysen von Malschichtpartien (gem. Punkt 2.2.1.1), bei denen die Morphologie der Salzausblühungen deutliche Unterschiede in der Maltechnik bzw. angewandter Konservierungstechnologien erwarten ließen, konnten bisher keinerlei Differenzierungen der Bindemittelmatrix nachgewiesen werden.

⁶⁵ Standortbedingt tritt Schlagregen in der Regel bei südwestlichen Winden auf.

⁶⁶ Die kapazitive Materialfeuchtemessung wird durch Salze im Porenraum gestört, es werden tendenziell zu hohe Feuchtwerte, in der Regel über der Sättigungsfeuchte des Materials angezeigt. Der Meßbereich ist auf 2,5cm Materialtiefe begrenzt. Im überprüften Bereich bilden beide Meßverfahren die gleiche Tendenz der Werteverteilung ab.

⁶⁷ Der auch durch den Verfasser in Bergen eingesetzte Volumenmeßkopf des Systems Moist 200B wurde dort über die angegebene Meßtiefe von 30cm an Prüfkörpern mit definierten Feuchtegehalten in verschiedenen Schichtungen getestet. Dabei wurden nur die Feuchte im oberflächennahen Segment bis 5cm erfaßt [Wilhelmi 2008].

Bei stichprobenartigen Pigmentanalysen (gem. Punkt 2.2.1.3) konnten bisher weder in der Übermalung bzw. den Ergänzungen der bis 1902 abgeschlossenen Restaurierung, noch in erkennbaren Originalpartien Kupferpigmente nachgewiesen werden. Im mittelalterlichen Original wurden jedoch Bleiweiß und Lapislazuli verwendet. Letzteres dürfte Aufgrund der Belastung mit schwefliger Säure, die auch zur Gipsbildung geführt hat, jedoch weitestgehend entfärbt sein. Das bei der Restaurierung verwendete Blaupigment ist ein Kobaltblau, daß zumindest bei der Gipsumwandlung mit Ammoniumkarbonat nicht angegriffen wird. In der mittelalterlichen Malerei kann aber zumindest in mutmaßlichen Blau- und Grünpartien die Verwendung kupferhaltiger Pigmente nicht ausgeschlossen werden. Bei der prinzipiell al secco als Kalkmalerei ausgeführten Fassung ist für diese Farbtöne allerdings auch die höchste Verlustrate anzunehmen⁶⁸. Die zwar lasierenden, aber verhältnismäßig dunklen Übermalungen mutmaßlich originaler Blau- und Grünpartien erschweren das visuelle Erkennen eventueller originaler Farbreste zusätzlich. Im Zweifelsfall sollten deshalb in diesen Partien alle chemischen Behandlungen unterbleiben, die originale Blau- und Grünpigmente schädigen können. Dies betrifft insbesondere die Ammoniumkarbonatbehandlung der Vergipsungen.

3.2.4 Möglichkeiten der kontrollierten Belüftung

Nach Ausbau der Westvorhalle zum Windfang liegt die durchschnittliche Luftwechselrate pro Stunde bei normalem Besucherverkehr bei etwa 0,075⁶⁹. Dabei ist keinerlei Zonierung innerhalb des Raumes erkennbar. Das heißt, das aufgrund der Strömungsverhältnisse im Raum prinzipiell eine weitgehende Durchmischung der Raumluft erfolgt. Grundsätzlich ist die Luftwechselrate sehr niedrig, der Anteil des Luftwechsels über die Westvorhalle ist jedoch mit etwa 16% noch immer sehr hoch⁷⁰. Die Frischluftzufuhr über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle in das Hauptschiff liegt bei ca. 500m³ pro Stunde.

Durch die Öffnung potentieller Zuluftkanäle im Chor, sowie der Entlüftung über den Turm konnte die Frischluftzufuhr auf der Basis natürlicher Druckdifferenzen am Gebäude lediglich um ca. 300m³ pro Stunde gesteigert werden. Diese gegenüber der natürlichen Luftwechselrate bei geschlossenen Zu- und Abluftkanälen verhältnismäßig geringe Steigerung ist für die beabsichtigte Beeinflussung des Raumklimas durch geregelte Belüftung völlig unzureichend.

Hier besteht jedoch erhebliches Optimierungspotential, da die Abluft aus dem Kirchenschiff bisher nicht direkt, sondern nur über den zum Dach offenen nördlichen Raum im Obergeschoß der Westhalle in den Turm geführt werden kann. Auf diese Weise geht ein Großteil des Unterdrucks im Turm über den Dachstuhl des Westriegels verloren. Ein direkter Anschluß des Kirchenschiffes an den Turm dürfte die Luftwechselrate wesentlich erhöhen. Außerdem ist natürlich der Einsatz von Ventilatoren zur Erhöhung der Luftwechselrate denkbar, was jedoch aufgrund der Geräuschentwicklung und der Betriebskosten zunächst vermieden werden sollte.

⁶⁸ Zumindest bei Azurit und Malachit nimmt die Farbintensität mit der Größe des Pigmentkorns ab. Sie wurden deshalb in verhältnismäßig groben Mahlungsgraden verwendet, was wiederum einen hohen Bindemittelbedarf der Pigmente bedingt. Dieser Bindemittelbedarf konnte durch verhältnismäßig dünne Grundierung mit Kalktünche in der Regel nicht gedeckt werden, sodaß die Stabilität dieser Partien von vornherein herabgesetzt war.

⁶⁹ D.h., das Luftvolumen in Langhaus, Querhaus und Chor (von etwa 7400m³) wird in etwa 15 Stunden infolge natürlicher Druckdifferenzen durch Öffnungen und Undichtigkeiten in der Raumschale vollständig durch Außenluft ersetzt. Der Meßwert wurde integral über 4 Wochen ermittelt.

⁷⁰ D.h., 16% des Luftaustausches erfolgen über die drei Türen zur Westvorhalle, während sich die restlichen 84% über Undichtigkeiten der gesamten Raumschale verteilen, wobei vor allem die Bleiverglasungen der Fenster relevant sein dürften.

3.3 Zu erprobten Diagnosetechniken und Geräten

3.3.1 Einsatzmöglichkeiten einer kapazitiven Tiefensonde aus der Bodenfeuchteanalytik für die Mauerwerksdiagnostik

Meßsystem/ Meßprinzip

Aufgrund positiver Erfahrungen der Konservierungsabteilung des Dänischen Nationalmuseums wurde⁷¹ die kapazitive Tiefensonde PR2 auf ihre Eignung für die Mauerfeuchtediagnostik getestet (Punkt 2.2.1.0 c)). Die Sonde erfaßt Materialfeuchten über die Änderung eines elektrischen Feldes in Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten der umgebenden Materialien. Die Meßwerte werden als Spannung ausgegeben. Somit sind vergleichende Messungen möglich, für die Bestimmung absoluter Feuchtegehalte sind materialspezifische Kalibrierungen erforderlich⁷². Verfälschungen der Meßergebnisse durch lösliche Salze sind nach Herstellerangaben vernachlässigbar⁷³.

Erfassungsbereich/ Empfindlichkeit/ Handhabung

Abhängig von der Baulänge der Sonde werden Mauertiefen bis 1000mm erreicht. Für die Messung muß eine Bohrung von 28mm Durchmesser bis 115 mm über die größte Meßtiefe ins Mauerwerk eingebracht und mit einem Schutzrohr ausgekleidet werden. Durch axiale Verschiebung der Sonde können die Tiefenprofile in beliebige Schritte aufgelöst werden. Aufgrund der Anordnung der Sensoren wird jedoch immer ein Bereich von ca. 4cm axialer Ausdehnung erfaßt, sodaß bei höheren Auflösungen nur gleitende Mittelwerte über jeweils 4cm Mauertiefe ausgegeben werden⁷⁴. Tangential wird ein Sektor von ca. 260° erreicht⁷⁵, sodaß für eine umlaufende Erfassung der Materialfeuchte in jedem Tiefensegment mehrere Einzelmessungen erforderlich sind, für die die Sonde jeweils um ihre Achse gedreht wird. Abhängig von der Überdeckung der Sektoren bei den Einzelmessungen ergibt sich dabei auch tangential ein Durchschnittswert. Nach Herstellerangaben werden radial bis in 100mm Materialtiefe 95% der Empfindlichkeit des Meßsystems erreicht⁷⁶.

Meßgenauigkeit/ Kalibrierung

Zunächst wurde die Wiederholgenauigkeit der Sonde unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten infolge der manuellen (händischen) axialen und tangentialen Zustellung überprüft. Bei einer Basis von über 2300 Wertepaaren blieb die Abweichung bei Wiederholungsmessungen mit 99%iger Wahrscheinlichkeit unter 4% des jeweils kleineren Meßwertes. Die Standardabweichung lag bei 0,7%, die maximale Abweichung betrug 10,4% des Meßwertes.

⁷¹ Nach freundlicher Empfehlung durch Poul Klenz Larsen.

⁷² Die mitgelieferten Kalibrierkurven für organisches und mineralisches Erdreich ergaben am Mauerwerk tendenziell zu hohe Werte.

⁷³ Vgl. [Delta-T 2004], S. 26.

⁷⁴ Nach bisher nicht experimentell überprüften Herstellerangaben wird über diesem Bereich gleichmäßig die volle Empfindlichkeit des Systems erreicht, während außerhalb dieses Bereiches die Empfindlichkeit steil abfällt.

⁷⁵ Anhand der Anordnung der Sensorelemente auf dem Sondenstab geschätzt. Angaben des Herstellers liegen nicht vor.

⁷⁶ Diese Angabe wird von mehreren konsultierten Spezialisten (u.a. Poul Klenz Larsen (PHD), Prof. Dr. Ing. Harald Garrecht) stark bezweifelt, sie bedarf einer experimentellen Überprüfung.

Probleme

Aufgrund der Differenzen der Dielektrizitätskonstanten von Luft und Wasser, sowie der mit zunehmender Entfernung exponential abnehmenden Empfindlichkeit der Sonde⁷⁷ hat der Materialschluß zwischen Sondenschutzrohr und Mauerwerk (Wandung der Meßbohrung) einen großen Einfluß auf das Meßergebnis. Bereits bei einem umlaufenden Luftspalt von 2 bis 3mm waren Abweichungen in der Größenordnung von bis zu 50% des Meßwertes festzustellen.

Präzise Bohrungen bis in Mauertiefen von 1100mm sind bei dem erforderlichen Durchmesser von 28mm nur mit stationären, wassergekühlten Diamantbohrsystemen zu erstellen. Dabei wird⁷⁸ unkontrolliert zusätzliches Wasser in das Mauerwerk eingebracht. Die Messung der Mauerfeuchte kann erst nach Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen eingebrachter und vorhandener Feuchtigkeit im Mauerwerk beginnen, die Einstellung dieser Ausgleichsfeuchte muß anhand von periodischen Messungen ermittelt werden. Zusätzlich können weitere Bohrungen zur stationären Befestigung des Bohrsystems erforderlich werden. Dies ist zumindest im Bereich sensibler Oberflächen problematisch.

Alternativ sind trockene Bohrungen mit Schlagbohrsystemen möglich. Neben dem u.U. schädigenden Eintrag von Schwingungen in das Mauerwerk führen hier Eigenschwingungen des Bohrsystems zu Aufweitungen der Bohrung, die zur Oberfläche hin zunehmen. Der daraus resultierende, sich mit zunehmender Tiefe der Bohrung verjüngende Luftspalt zwischen Sondenschutzrohr und Mauerwerk erschwert aufgrund der o. g. Zusammenhänge die Auswertung der Meßergebnisse. Zumindest sind die Werte einer Meßreihe im Tiefenprofil nicht direkt vergleichbar, sodaß nicht sicher auf Feuchtequellen (Beispielsweise Kondensat an der inneren Oberfläche) bzw. Feuchteströme geschlossen werden kann. Vergleiche periodischer Messungen sind jedoch möglich.

Prinzipiell läßt sich dieses Problem durch die Verfüllung des Luftspaltes mit Injektionsmörtel lösen. Auch dabei wird jedoch in Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten der eingebrachten Reagenzien das Meßergebnis beeinflusst, die Einstellung eines Feuchtegleichgewichtes zwischen Mauerwerk und Injektionsmörtel muß abgewartet und überwacht werden. Nach Einstellung dieses Gleichgewichtes werden die Meßwerte im Gegensatz zur Diamantbohrung zusätzlich durch die gegenüber dem Mauerwerk abweichende Porengeometrie des Injektionsmörtels beeinflusst. Zur Abklärung dieser Problematik sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Bewertung

Anerkannter Stand der Technik bei Mauerfeuchteanalysen an Baudenkmalen ist die gravimetrische Feuchtemessung am Bohrkern oder Bohrmehl (Darrfeuchtemessung). Obwohl an sich unbestechlich, ist diese Methode anhand aktueller Untersuchungsergebnisse⁷⁹ zumindest für mittelalterliche Backsteinmauerwerke in Frage zu stellen. Offenbar schwankt hier das Wasseraufnahmevermögen aufgrund von Materialinhomogenitäten so stark, daß aus dem von einer singulären Bohrung erfaßten Volumen nicht sicher auf das umgebende Mauerwerk geschlossen werden kann. Angesichts der Systemgenauigkeit (s. o.) kann hier (in Abhängigkeit des zu präzisierenden Erfassungsbereiches) die kapazitive Tiefensonde PR2 verlässlichere Ergebnisse liefern. Während gravimetrische Analysen an Bohrkernen bzw. –mehl nur Momentaufnahmen liefern, ermöglicht die Tiefensonde PR2 beliebig viele Wiederholungsmessungen und damit ein Langzeitmonitoring der Mauerfeuchte in großen Querschnitten. Aufgrund der erforderlichen Materialschlüssigkeit ist der Aufwand für die Erstellung der Meßbohrung etwas höher, als für eine gravimetrische Feuchtemessung erforderlich. Die eigentliche Messung ist jedoch bei hoher Genauigkeit mit sehr geringem Aufwand durchzuführen: Die Messung eines Feuchteprofils über

⁷⁷ Vgl. [Delta-T 2004], S. 26.

⁷⁸ Insbesondere bei Hohlräumen in Bereich der Bohrung

⁷⁹ Vgl. Anm. 38.

1000mm Mauertiefe bei einer axialen Auflösung von 10mm und 60% tangentialer Überdeckung ist inklusive objektspezifischer tabellarischer und grafischer Auswertung in 1,5 Stunden zu realisieren⁸⁰.

3.3.2 Messung der kapillaren Wasseraufnahme über die Wandmaleroberflächen.

Im Ergebnis der Messungen zur kapillaren Wasseraufnahme über die Malschichtoberfläche ist folgendes festzustellen:

- Keines der getesteten Meßverfahren war für die Anwendung auf fragilen, ungefestigten (beispielsweise pudernden) Malschichten geeignet. Das weitgehend berührungsfreie Wasserbenetzungsgerät scheint jedoch für diesen Einsatzzweck optimierbar zu sein.
- Die mit der Kontaktschwamm-Methode auf unterschiedlichsten Flächen ermittelte kapillare Wasseraufnahme war mit 0,06 bis 0,30kg/m²h^{0,5} sehr niedrig⁸¹.
- Die technologisch bedingten Variationen der Morphologie von Putz und Malschicht habe einen wesentlich stärkeren Einfluß auf die kapillare Wasseraufnahme, als die beprobten Techniken zur Malschichtfestigung und zur Gipsumwandlung.
- Tendenziell ist die kapillare Wasseraufnahme auf durch den mittelalterlichen Putz höher, als durch den Putz des 19. Jahrhunderts.
- Aufgrund der Überlagerung durch die Einflüsse der strukturellen Variationen von Putz und Malschicht konnten selbst im Vergleich mit Blindwerten keine ausreichend signifikanten Unterschiede in der kapillaren Wasseraufnahme zwischen den erprobten Techniken zur Malschichtfestigung und zur Gipsumwandlung festgestellt werden.

3.4 Zu erprobten Konservierungstechnologien

3.4.1 Generelle Vorgehensweise/ Arbeitsabläufe

Bei der Konservierung der Malerei sind aufgrund der komplexen Schadensproblematik zahlreiche Arbeitsgänge erforderlich. Diese lassen sich vorab zwar prinzipiell beschreiben, ihre detaillierte Ausführung und Reihenfolge müssen aufgrund der sehr stark differenzierten Schadensausbildung allerdings entsprechend der konkreten Situation der zu behandelnden Malschichtpartie variiert werden.

Abhängig vom Vergipsungsgrad und der Ausbildung der Gipskruste lassen sich Teile oberflächlich aufliegender Verschmutzungen und Salzablagerungen mechanisch trocken abreinigen. Bei jeglicher, mit Feuchteinträgen verbundenen Folgebehandlung (wie z.B. der Extraktion löslicher Salze, der Maßnahmen zur Gipsumwandlung, sowie zur Putzkonservierung), besteht die Gefahr der Verfestigung der oberflächlichen Ablagerungen durch Umkristallisierung der Salze, bzw. der Ausschwemmung dieser oberflächlichen Salzanreicherungen in tiefere Zonen von Malschicht und Bildträger. Dem ist durch die Abnahme der lose aufliegenden Verschmutzungen und Salzausblühungen in einem ersten Arbeitsgang

⁸⁰ Dabei werden insgesamt 504 Meßwerte ausgewertet, die Ausgabe erfolgt in drei jeweils um 120° versetzten Einzelprofilen, sowie einem daraus gemittelten Profil.

vorzubeugen. Bereits hier sind begleitend erste Vorfestigungsmaßnahmen erforderlich, bei deren Ausführung jedoch die Behinderung folgender Arbeitsgänge auszuschließen ist. Einzelheiten zur Ausführung werden in Abschnitt 3.4.2 beschrieben.

Leichtlösliche Salze, insbesondere Nitrate im Gefüge von Malschicht und Malgrund lassen sich mit Zellstoffkompressen weitgehend reduzieren. Aufgrund zahlreicher Kontraindikationen und technologischer Überschneidungen muß die Kompressenextraktion der Salze jedoch im Zusammenhang mit der Gipsbehandlung der Malschicht geplant werden. Siehe dazu Abschnitte 3.2.2 und 3.4.5.

Die hier aufgrund der Risikoabschätzung vorab favorisierten Behandlungen mit Ionenaustauscherharzen bzw. Ammoniumkarbonat erwiesen sich grundsätzlich als geeignet. Die Auswahl des Verfahrens, sowie der Reihenfolge der Arbeitsschritte erfordert jedoch in jeder zu behandelnden Malschichtpartie eine individuelle Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile möglicher Verfahren. Siehe dazu Abschnitt 3.4.6.3. Einzelheiten zur Ausführung der Gipsumwandlungsverfahren werden in Abschnitt 3.4.6 beschrieben.

Der Einsatz von Lasertechnologie zur Oberflächenreinigung ist aufgrund der Morphologie von Malschicht und aufliegenden Schmutz- und Salzablagerungen nach derzeitigem Stand der Technik weitestgehend auszuschließen (vgl. Abschnitt 3.4.7).

Aus den bisher vorliegenden Erkenntnissen ist folgende prinzipielle Verfahrensweise abzuleiten:

- 1) Sicherung hochfragiler Putzbereiche durch Abböschungen und punktuelle Injektagen bei minimalstem Feuchteintrag
- 2) Abreinigung lose aufliegender Verschmutzungen und Salzablagerungen mit begleitender Vorfestigung;
- 3) Klassifizierung der Arbeitsbereiche für die Gipsbehandlung nach Schadensbild, Schadensgrad und Spezifikation der Malschicht, Vorauswahl der jeweils anzuwendenden Gipsbehandlungsmethode;
- 4) Handproben zur Erfolgsprognose für die jeweilige Gipsumwandlungsmethode in den klassifizierten Arbeitsbereichen einschließlich Stichprobenartiger Überprüfung durch analytische Baustoffmikroskopie
- 5a) Gipsumwandlung mit Ammoniumkarbonat in augenscheinlich stark verkrusteten Bereichen ohne Kontraindikation mit anschließender Kompressenextraktion der Reaktionsprodukte und der leicht löslichen Salze.
- 5b) Gipsumwandlung mit carbonatbeladenem Anionenaustauscherharz in weniger stark verkrusteten Bereichen bzw. solchen mit eindeutiger Kontraindikation für die Anwendung von Ammoniumkarbonat, einschließlich Vorfestigung nicht tragfähiger Malschichtbereiche
- 6) Wiederholung der Gipsumwandlung mit carbonatbeladenem Anionenaustauscherharz in Bereichen mit ungenügender Gipsumwandlung, ggf. mehrere Arbeitsgänge
- 7) ggf. Nachbehandlung mit Ammoniumkarbonat in Teilbereichen ohne Kontraindikation, in

⁸¹ Wengleich das Meßverfahren nicht direkt mit der Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN 52617 vergleichbar ist, würden diese Meßwerte im Bereich wasserabweisend bis wasserundurchlässig liegen.

denen mit Ionenaustauscherharz keine ausreichende Gipsumwandlung erreicht wurde.

8) bedarfsweise Nachfestigung der Malschicht

9) Injektagen zur Putzkonserverung nach Maskierung von Malschichtbereichen mit verbleibender Vergipsung zur Verhinderung von Gefügeveränderungen im Gips durch Feuchtigkeit aus den Injektagematerialien.

3.4.2 Mechanische Reinigung einschließlich Vorfestigung der Malschicht

Die Abreinigung lose aufliegender Verschmutzungen und Salzausblühungen erfolgte entsprechend ihrer Festigkeit und der Belastbarkeit der Malschicht trocken durch Abkehren mit feinsten Pinseln bzw. in wenigen Teilbereichen mit besonders stabiler Malschicht mit Wishab® Reinigungsschwämmen.

Dabei war insbesondere in puderig aufgetriebenen Malschichtpartien eine Vorfestigung erforderlich. Die besten Resultate wurden mit einem hauchdünnen Überzug feinst vernebelten Zelluloseleimes erreicht. Dabei wurde der Materialauftrag soweit reduziert, daß die Malschicht nur leicht angefeuchtet, jedoch keinesfalls durchtränkt wurde. Idealerweise wurde dabei das Konglomerat aus pudernder Malschicht, Schmutz- und Salzablagerungen gerade soweit stabilisiert, daß die Schmutz und Salzablagerungen durch Abkehren mit feinsten Pinseln von der Oberfläche her reduziert werden konnten. In Richtung Malgrund verschiebt sich dabei das Verhältnis von Schmutz- und Salzpartikeln zu Malschichtpartikeln, sodaß die Bearbeitungsgrenze vom ausführenden Restaurator nach visueller Beurteilung simultan festgelegt werden muß. Die besten Resultate sind zu erzielen, wenn das Festigungsmittel an der Oberfläche (überwiegend Schmutz- und Salzablagerungen) bereits abgetrocknet, an der Unterseite der Malschicht (überwiegend Malschichtpartikel) jedoch noch klebrig ist. Die Entscheidung zur Vorfestigung muß in der Regel vorab nach visueller Beurteilung der zu bearbeitenden Malschichtpartie getroffen werden, da mechanische Belastungstests bereits zu Malschichtverlusten führen können. Da insbesondere in Bereichen mit puderig aufgetriebener Malschicht fragile Partien visuell nicht von fest versinterten Partien unterschieden werden können, wurden letztere in der Regel mit überfestigt.

Aufgrund der kleinteiligen Differenzierung der Schadensbilder, sowie der bei der Vernebelung des Festigungsmittels unvermeidlich fließenden Begrenzungen erschien eine Kartierung der gefestigten Bereiche als nicht zielführend. Angesichts des sehr sparsamen Auftrages von Festigungsmittel sind Auswirkungen auf nachfolgende Arbeitsgänge auch zu vernachlässigen. Allerdings wurde durch die Reduzierung der oberflächlichen Verschleierungen die Ablesbarkeit der Verkrustungen der Malschicht deutlich verbessert. Hier ist eine Ergänzung der Zustandskartierung anzuraten.

3.4.3 Festigung der Malschicht

Die Eignung der erprobten Festigungsmaterialien und –technologien muß im Zusammenhang mit den für die Salzreduzierung und die Gipsbehandlung erforderlichen Maßnahmen beurteilt werden (Punkt 2.2.1.5).

Die Auswertung der Handproben erbrachte folgende Ergebnisse

a) nach einer Standzeit von 8 Wochen:

- Mit allen Rezepturen wurde eine ausreichende Bindung der Malschicht erreicht.
 - Sämtliche Proben mit Gemischen aus Klucel E und Syton X30 in Wasser wiesen Glanzstellen auf.
- b) Nach Applikation und vollständiger Abtrocknung einer wassergefüllten Kompresse aus Arbocell über Japanpapier
- Auf den mit Cellulosederivaten gefestigten Probeflächen gab es durchweg Probleme bei der Kompressenbehandlung mit wässrigen Medien. Durch das Anquellen des Festigungsmittels hielt die Malschicht der Belastung durch die Kompresse nicht stand. Dabei glitt die zwischen Malschicht und Kompresse aufgelegte Schutzkaschierung aus Japanpapier ab, oder sie löste sich von der Malschicht. Bei ausreichender Haftung ließ sich nach Abnahme der durchgetrockneten Kompresse selbst die ohne Kleber aufgelegte Japanpapierkaschierung sich nur nach Anquellen des Festigungsmittels entfernen. In allen drei Fällen kam es insbesondere auf auf den mit Klucel E gefestigten Proben zu erheblichen Malschichtverlusten. Offenbar sind Haftzug- und Haftscherfestigkeit der angequollenen Celluloseleime gegenüber dem Malgrund geringer, als gegenüber der Japanpapierkaschierung.

Die Festigungsproben mit Kasein und Thylose mit Kieselzolzusatz zeigten eine ausreichende Festigkeit für die Kompressenbehandlung. Allerdings wurde hier auch die Effektivität der Gipsumwandlung durch Ionenaustauscher gegenüber ungefestigten Bereichen deutlich eingeschränkt. Eine Wiederholung der Gipsumwandlung war auf beiden Festigungsmaterialien effektiver, allerdings auch mit größeren Malschichtverlusten verbunden. Offenbar wird die Bindemittelmatrix der Festigung durch die Gipsumwandlung geschädigt. Grundsätzlich steigt mit der Naßfestigkeit der Festigung auch die Behinderung der Gipsumwandlung, bei der Kaseinfestigung stärker, als bei der Festigung mit silikatvergüteter Tylose. Letztere wird deshalb favorisiert.

Aufgrund der irreversiblen Veränderungen des Materialgefüges⁸² sollte die Festigung mit Zusätzen von Kieselzol nur ausgeführt werden, wo dies unumgänglich ist bzw. auf nicht auf Technologien verzichtet werden kann, die eine solche Festigung erzwingen.

Dies ist überall dort der Fall, wo durch Gipskristallisation entstandene Malschichtschäden eine Gipsumwandlung erfordern und die dabei unvermeidlichen Malschichtverluste mit begleitender Festigung geringer ausfallen, als bei der Gipsumwandlung ohne Festigung, so zum Beispiel in den stark aufgetriebenen Ockerschichten der Inkarnate des 19. Jahrhunderts.

Dies ist nicht der Fall in Bereichen mit bisher stabilen glasigen Vergipsungen innerhalb der Malschicht. Bei der Reduzierung der Vergipsung durch Ionenaustauscherharze würde hier die Malschicht sukzessive entfestigt. Zur Stabilisierung für die Kompressenbehandlung wäre eine begleitende Nachfestigung unter Verwendung von Kieselzol erforderlich. In derartigen Fällen stellt nach bisherigen Erkenntnissen die Belassung der Vergipsung das geringere Risiko für die Malschicht dar⁸³.

Grundsätzlich kann auf die Vorfestigung zur Vorbereitung der Gipsumwandlung weitgehend verzichtet werden. Geringe Malschichtverluste bei der Gipsumwandlung in Form von Pigmentrückständen an der

⁸² Während die Zellulosekomponente der mikrobiellen Verwertung anheim fallen dürfte, verbleibt die silikatische Komponente im Porenraum. Dies kann zu Farbveränderungen (Vergrauungen), sowie Veränderungen der Kapillaraktivität führen.

⁸³ Sofern eine Zunahme der klimatischen Belastungen der Malerei ausgeschlossen werden kann..

Kompresse sind, bedingt durch die Gefügeschäden der Malschicht⁸⁴, unvermeidlich. Eine Vorfestigung führt hier tendenziell zu größeren Verlusten.

3.4.4 Auswahl geeigneter Kompressenrezepturen einschließlich Schutzkaschierung für die Wirkstoffapplikation und die Salzreduzierung

Zur Gewährleistung einer rückstandsfreien Entfernung der eingesetzten Kompressenmaterialien sind grundsätzlich Schutzkaschierungen der Maleroberfläche mit Japanpapier erforderlich. Während sich die Verwendung von Zelluloseklebern, sowohl zur Vorfestigung der Malschicht, als auch zur Applikation von der Japanpapiere aus den unter 3.4.3 genannten Gründen sich als kontraproduktiv erwies, konnten die nur mit demineralisiertem Wasser auflaminierten Papiere auch auf pudernden Malschichtbereichen weitgehend verlustfrei abgenommen werden. Entscheidend für die Wirksamkeit der Kompressen ist der andauernd durchgehende Kapillarkontakt von der Kompresse über die Schutzkaschierung zur Wandoberfläche. Hier erwies sich ein langfaseriges, spannungsarm trocknendes Japanpapier mit hoher Naßfestigkeit als optimal⁸⁵.

Für die Salzreduzierung waren aufgrund des hohen Saugvermögens des mittelalterlichen Backsteins zunächst bentonithaltige Kompressenrezepturen nach Ettl und Wendler favorisiert worden. Diese erwiesen sich als ungeeignet, da das Bentonit das Japanpapier durchdrang und sich nicht rückstandsfrei bzw. ohne diese zu beschädigen von der Maleroberfläche entfernen ließ.

Zu den alternativ getesteten Kompressenrezepturen auf der Basis von Cellulosefasern wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Kompressen aus Arbocel[®] BC 1000 ließen sich eventuell auch ohne Japanpapierunterlage verwenden. Aufgrund der relativ groben, kugeligen Granulierung des Materials ist kein jedoch vollflächiger Kontakt der Kompresse zur Wand gewährleistet, was zu einer rasterförmigen Einwirkung der Reagenzien führen könnte.
- Bei Mischungen von Arbocel[®] BC 1000 und BC 200 ist durch den Feinanteil ein guter Kontakt zur Wandoberfläche gegeben, durch den groben Anteil in der Mischung läßt sich das Material ausreichend dick auftragen (> 0,5 cm). Allerdings setzt sich der Feinanteil in die Struktur der Maleroberfläche und läßt sich von dort nur unter Gefährdung für die Malschicht entfernen. Somit ist Japanpapierzwischenlage erforderlich.
- Die Japanpapierzwischenlage behindert weder die Gipsbehandlung mit Ammoniumkarbonat, noch die anschließende Extraktion der Reaktionsprodukte und löslichen Salze. Allerdings kommt es mit der Japanpapierzwischenlage teilweise zu Ablösungen der Neutralkompressen bei der Nachbehandlung, offensichtlich infolge von Spannungen während des Trocknungsprozesses.
- Durch Zusätze von Superabsorber Mischungen von Arbocel[®] BC 1000 und BC 200 konnte die Anfangshaftung der Kompressen deutlich verbessert werden. Offenbar reduziert die Zugabe von Superabsorber die bei der Trocknung der Kompresse auftretenden Spannungen. Einzelne Ablösungen der Kompressen vom Untergrund lassen sich aber nicht grundsätzlich verhindern. Kompressen ohne Superabsorber neigten eher zum Versagen durch Verlust des Kapillarkontaktes bei Einsetzen der

⁸⁴ Durch Gipskristallisation puderig aufgetriebene Malschicht.

⁸⁵ Ino Shi 10g/qm. Kurzfasrige Papiere bieten zwar aufgrund der bei gleicher Grammatur höheren Dichte einen besseren Schutz der Malschicht vor durchdringenden Kompressenmaterialien. Hinsichtlich der Gewährleistung eines optimalen Kapillarkontaktes sind sie jedoch weniger geeignet, da sie sich bereits bei der Applikation weniger den Rauhtiefen der Maleroberfläche anpassen und durch eine höhere Spannung beim Trocknen zum Abreißen tendieren.

Trocknungsphase⁸⁶. Bei wiederholten Kompressenapplikationen wird das Risiko der vorzeitigen Ablösung der Komresse mit jedem Durchgang geringer⁸⁷.

- Zusätze von Superabsorber verzögern die Abtrocknung der Komresse.
- Die Zusätze von Superabsorber bewirkten keine Verbesserung der Entsalzungsleistung der Komresse, Proben ohne Superabsorber zeigten tendenziell eine höhere Entsalzungsleistung⁸⁸.
- Hinsichtlich der Verhältnisse von Haftung und Entsalzungsleistung der Komresse muß die optimale Variante für den konkreten Anwendungsfall erwogen werden.
- Bereits nach zwei Durchgängen der Kompressenentsalzung war in allen Probefeldern eine weitestgehende Reduzierung der vorhandenen Salzbelastung, sowie der Reaktionsprodukte der Ammoniumkarbonatbehandlung festzustellen.
- Ein Ausschwemmen oberflächennah angereicherter Salze in tiefere Wandbereiche konnte nicht festgestellt werden.
- Wasserbelegte Kompressen bewirken eine deutliche Verstärkung des Weißschleiers auf der Malschicht bis zur vollkommenen Unkenntlichkeit der Malerei, auch dunkle Krusten werden weiß und undurchsichtig; die Salzkristalle sind fest mit der Malschicht verwachsen; lassen sich nicht abkehren oder auf andere Weise (Skalpell, Glasfaser) ohne Verluste von der Malschicht trennen. Augenscheinlich führen die wässrigen Kompressen zu Krepierungen glasiger Gipsformationen⁸⁹.

3.4.5 Indikationen für die Kompressenextraktion löslicher Salze

Bei der Gipsbehandlung mit Ammoniumkarbonat wird im Zuge der Wirkstoffapplikation und der ohnehin erforderlichen Kompressenextraktion von Reaktionsprodukten und überschüssigen Reagenzien bereits eine weitgehende Reduzierung der leichtlöslichen Salze erreicht. Auf den mit Ionenaustauscherharzen behandelten Flächen muß die Frage nach der Notwendigkeit der Kompressenextraktion löslicher Salze wesentlich differenzierter betrachtet werden:

Im Ergebnis der bisher durchgeführten umfangreichen Voruntersuchungen sind alle durch Salzkristallisation hervorgerufenen Schäden der Malerei unmittelbar auf die Gipsbelastung zurückzuführen. Gleichwohl konnten die Untersuchungen nur stichprobenartig durchgeführt werden, sodaß die Beteiligung weiterer Salze an den Kristallisationsschäden nicht generell ausgeschlossen werden kann. Dies betrifft insbesondere Teilbereiche, die, beispielsweise durch direkte Sonneneinstrahlung, periodischen Feuchteschwankungen unterworfen sind. Bei der konservatorischen Behandlung von Bereichen mit starken, durch Salzkristallisation hervorgerufenen Schäden sind deshalb weitere Salzanalysen zur Abklärung der Notwendigkeit von Salzextraktionen erforderlich

In Malschichtbereichen, in denen die Gipsbelastung über leichte Verdunkelungen bzw. Verglasungen hinaus bisher zu keinen weiteren Malschichtschäden geführt hat, gibt es mehrere Kontraindikationen für die Extraktion der hochhygroskopischen Salze:

- Im Umkehrschluß aus den unter 3.2.2 beschriebenen Zusammenhängen ist nicht auszuschließen, daß nach einer Reduzierung der Konzentration leichtlöslicher Salze die Malschichtschäden durch klimabedingte Kristallisationszyklen des Gipses zunehmen, sofern die glasige Vergipfung in der

⁸⁶ Ablösungen vom Untergrund traten nach 2 bis 3 Tagen auf.

⁸⁷ In einem Probefeld für die Gipsumwandlung mit Ammoniumcarbonat wurde eine vierte Neutralkomresse zur Nachbehandlung aufgebracht, je zur Hälfte mit und ohne Superabsorber. Die Komresse wurde 11 Tage nach Durchtrocknung abgenommen. Es gab keine Ablösungserscheinungen.

⁸⁸ Analysen an Kompressenproben aus Testfeldern 40x40cm

⁸⁹ Allerdings sind unter dem Rasterelektronenmikroskop keine signifikanten Unterschiede der Gipskrusten vor und nach der Einwirkung der Komresse erkennbar.

Malschicht belassen wird.

- Die bei der Salzextraktion erforderlichen Wasserkompressen führen zu Malschichtveränderungen und –schäden durch Umkristallisation latenter Vergipsungen, beispielsweise zur Aufweitung vorhandener Schäden durch Salzsprengung im Mikrobereich, oder zu weißlichen Verschleierungen bisher lediglich verdunkelter, aber ansonsten optisch intakter Bereiche.
- Die Belastungen der Malschicht durch die Kompressenapplikationen erfordert Malschichtfestigungen, die irreversible Gefügeveränderungen nach sich ziehen (siehe Abschnitt 3.4.3).
- Aus den selben Gründen ist die vollständige Entfernung der glasigen Vergipsungen nur in Ausnahmefällen vertretbar.

3.4.6 Zur Eignung chemischer Gipsbehandlungsverfahren

3.4.6.1 Gipsumwandlung durch anionische Ionenaustauscherharze

Sämtliche in den ausgewerteten Quellen zur Gipsbehandlung mit Ionenaustauscherharzen genannten Produkte waren am Markt nicht mehr verfügbar. Mit den alternativ getesteten Produkten konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- a) AMBERLITE 4400 OH bzw. Dowex CI, karbonatbeladen, in demineralisiertem Wasser angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen
 - Nach einer Einwirkzeit von ca. 4h wurde augenscheinlich eine gute Gipsumwandlung an der Oberfläche erreicht.
 - Auf der behandelten Oberfläche entstandene Weißschleier lassen sich im Nachgang mechanisch entfernen.
 - Kompaktere Gipskrusten werden nicht vollständig umgesetzt. Zumindest ermöglicht die verbleibende Festigkeit der Malschicht hier eine gefahrlose Abreinigung der Rückstände des Austauscherharzes, die durch die Schutzkaschierung auf die Oberfläche gedrungen sind. Darüber führen nachträglich zur Entsalzung aufgebrauchten Neutralkompressen erneut zu weißen Verschleierungen der Oberfläche, die sich mechanisch nicht entfernen lassen.
- b) AMBERLITE 4400 OH in demineralisiertem Wasser angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen
 - Aufgrund der Alkalität des Ionenaustauschers zu erwartende Schädigungen organischer Bindemittel in der Malschicht waren visuell nicht festzustellen.
 - Das sehr feine Harz durchdringt die Schutzkaschierung aus Japanpapier. Dies ist insbesondere auf sehr dünnen, vollständig umgesetzten Gipskrusten problematisch, da die nach Auflösen der Gipsmatrix entfestigte Malschicht den Belastungen bei der Entfernung der Harzrückstände nicht standhält.
- c) Dowex CI, karbonatbeladen in demineralisiertem Wasser angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen

- Das gröbere Korn dieses Ionenaustauschers ist vor allem beim Antragen auf die Wand hinderlich, auf einer größeren Fläche läßt sich die gleichmäßige, lückenlose Verteilung der rollenden Körner und der enge Kontakt zur OF nicht sicher gewährleisten; durch die Zugabe von wenig Arbocel BC 200 ist die Situation nur wenig zu verbessern;
- Aufgrund der größeren Granulierung läßt sich der Ionenaustauscher aber mit dem Japanpapier rückstandsfrei abnehmen;
- Eine Rasterung der behandelten Oberfläche infolge des mutmaßlich nur punktuellen Materialschlusses zwischen Harz und Oberfläche ist nicht erkennbar.

d) Powdex, karbonatbeladen

- Eine erfolgversprechende Alternative zu Dowex CI, karbonatbeladen, da dessen negative Eigenschaften durch eine feinere Körnung aufgehoben werden.
- Effektivere Gipsumwandlung aufgrund einer besseren Materialschlüssigkeit mit der zu behandelnden Oberfläche.
- In keiner Arbeitsprobe wurden, vermutlich aufgrund der geringen Alkalität, Hinweise auf die Verschwärzung von Blei- und Kupferpigmenten im Zusammenwirken mit der Nitratbelastung festgestellt.

e) AMBERLITE Mischbettionenaustauscher, in demineralisiertem Wasser angeteigt und über einer Schutzkaschierung aus Japanpapier angetragen

- Die Auflösung der auf der Malschicht aufliegenden Gipskruste ist möglich, wegen der groben Granulierung besteht jedoch die Gefahr einer Rasterwirkung.

Ein Zusatz von Arbocel BC 200 zu den Ionenaustauscherharzen

- erleichtert das Antragen
- verbessert die Haftung auf der Wandoberfläche;
- behindert die Wirksamkeit der Ionenaustauscher offensichtlich nicht;
- verhindert das Durchdringen der feinen IA-Partikel durch das Japanpapier nicht gänzlich, aber erheblich.

Resultat der Gipsumwandlung ist notwendigerweise fast immer ein Weißschleier auf der Malschicht. Dieser Weißschleier läßt sich aber nach dem Trocknen relativ problemlos abnehmen⁹⁰. Nicht umgewandelte Reste des weißen Gipsschleiers lassen sich dagegen nicht abnehmen. Die getesteten Zusätze von Tylose zu den Ionenaustauscherharzen haben das Abkehren der auf der Malschichtoberfläche neu gebildeten Weißschleieres massiv behindert⁹¹. Zusätze von Zelluloseleimen zu den Ionenaustauscherharzen wurden deshalb trotz deutlicher Vorteile bei der Applikation nicht weiter verfolgt.

Hinsichtlich der Handhabbarkeit und der Effektivität bei der Gipsumwandlung wird die Verwendung des Ionen-Austauscher Harzes Powdex CO₃²⁻ geladen mit einem 50%igen Zusatz von Arbocel[®] über

⁹⁰ In der Regel durch Abkehren mit einem weichen Pinsel, in hartnäckigen Fällen, meist in kleineren Flecken durch Radieren mit einem Glasfaserstift.

⁹¹ Bei allen Versuchen entstanden mehr oder weniger dichte Weißschleier, die sich nicht mit dem Pinsel abkehren ließen. Dabei handelt es sich vermutlich um Kalkphasen, die durch den Zelluloseleim an die Oberfläche gebunden werden.

Japanpapier favorisiert. In Bereichen mit offensichtlich unvollständiger Gipsumwandlung sind (auch mehrfache) Wiederholungen der Anwendung sinnvoll.

3.4.6.2 Gipsumwandlung durch Ammoniumkarbonat

Die Auswertung der Arbeitsproben und der analytischen Untersuchungen zur Erfolgskontrolle erbrachte folgende Ergebnisse:

- Bereits nach einer Einwirkzeit der Ammoniumkarbonatkompressen von einer Stunde mit der wurde der Gips im Bereich der Malschicht vollständig in Kalk umgewandelt.
- Auf der Malschicht gebildete Kalkschleier ließen sich nach Abtrocknung der ersten Neutralkompressen mechanisch entfernen.
- Im Vorzustand nur schwer ablesbare Malereipartien sind nach der Behandlung wieder gut erkennbar (Linienführung, Faltenwurf etc.).
- Ein großer Teil⁹² der bei der Gipsumwandlung freigesetzten Sulfationen wird schon mit der Wirkstoffkompressen aufgenommen.
- Über die folgenden H₂O-Kompressen ließen sich sowohl die Reaktionsprodukte der Ammoniumkarbonatbehandlung als auch die im Oberflächengefüge angereicherten Nitrate und Chloride weitgehend reduzieren; in Malschicht, Putz und oberflächennahen Mauerwerkssegmenten ist nach Abschluß aller Kompressendurchgänge keine relevante Konzentration der entsprechenden Ionen mehr nachweisbar. Die zusätzliche Belastung der Malschicht durch eine Kompressenextraktion der Nitrate vor der Ammoniumkarbonatbehandlung ist somit vermeidbar, da auf die Nachbehandlung mit Bariumhydroxid verzichtet werden kann und die Methode in Partien mit Blei- und Kupferpigmenten nicht zum Einsatz kommt.
- Durch Absperrungen des Untergrundes mit Cyclododekan läßt sich das Absinken von Reagenzien und Reaktionsprodukten wirksam verhindern, ohne die Gipsumwandlung an der Oberfläche zu behindern. Der manuelle Aufwand ist jedoch wesentlich höher, als die erfolgreiche Kompressenextraktion der Reaktionsprodukte und überschüssiger Reagenzien, sodaß die Absperrung für größere Flächen nicht praktikabel erscheint. Gleichwohl ist die Methode für die Absperrung des Untergrundes und die Maskierung angrenzender Bereiche bei lokaler Anwendung von Ammoniumkarbonat geeignet.
- Partiiell kommt es über die Rückführung auf das mutmaßlich ursprüngliche Erscheinungsbild hinaus zu irreversiblen weißlichen Aufhellungen der Malschicht⁹³.
- Eine Entfestigung der Malschicht infolge der Gipsumwandlung mit Ammoniumkarbonat ist nicht zu beobachten.

3.4.6.3 Gegenüberstellung, Auswahlkriterien

Eine Risikoabwägung der beiden favorisierten Gipsbehandlungsmethoden fällt prinzipiell zugunsten der

⁹² 3x mehr als mit den folgenden Neutralkompressen aufgenommen wird.

⁹³ Da die glasigen Vergipsungen über eine Veränderung der Brechungsindizes zu einer Verdunkelung haben, kommt es bei der Gipsumwandlung notwendig zu einer Aufhellung in Richtung des ursprünglichen Erscheinungsbildes. Infolge der Vergipsung der ursprünglichen Kalkmatrix der Malschicht ist es aufgrund der höheren Löslichkeit des Gipses jedoch zu Umlagerungen der Kalziumionen gekommen. Bei der Rückführung des Gipses in Kalk kann deshalb die ursprüngliche Bindemittelmatrix nicht reproduziert werden. Dies könnte ein Grund für die beobachteten Aufhellungen sein.

Gipsumwandlung durch Ionenaustauscherharze aus. Beide Verfahren müssen allerdings je nach Untergrund und Schädigung der Malerei alternativ eingesetzt werden. Während bei der verhältnismäßig gefahrlosen Anwendung der Ionenaustauscherharze die Vergipsung grundsätzlich nur von der Oberfläche her erreicht wird, ist eine vollständige Gipsumwandlung durch die tiefenwirksame Ammoniumkarbonatmethode mit Nebenwirkungen verbunden, die nicht uneingeschränkt vertretbar sind.

Hier ist vor allem mit irreversiblen Veränderungen von Blei und Kupferpigmenten zu rechnen, die in der mittelalterlichen Malerei⁹⁴ aufgrund des stark reduzierten Bestandes und der im 19. Jahrhundert stattgefundenen Übermalung in der Regel nicht mit bloßem Auge zu lokalisieren sind. Aus diesem Grunde sollte auf die Anwendung der Ammoniumkarbonatmethode in mittelalterlichen Malereipartien gänzlich verzichtet werden.

In den vollständig im 19. Jahrhundert ergänzten Malereipartien wurden zwar keine Blei- und Kupferpigmente nachgewiesen. Auch hier besteht aber die Gefahr irreversibler Farbveränderungen aufgrund von Veränderungen der Bindemittelmatrix bei Anwendung der Ammoniumkarbonatmethode. Sie sollte deshalb auch hier nur in folgenden Ausnahmefällen eingesetzt werden:

- Auf stark und opak verkrusteten Bereichen, in denen aufgrund der unvollständigen Gipsumwandlung durch Ionenaustauscherharze keine befriedigende optische Verbesserung erzielt werden kann, oder in denen die Belastung durch erforderliche Wiederholungen der Behandlung mit Ionenaustauscherharzen die Belastung durch die Ammoniumkarbonatbehandlung einschließlich Nachbehandlung übersteigt.
- Auf Inkarnaten des 19. Jahrhunderts mit stark aufgetriebenen Ockerschichten. Hier ist aufgrund der Schadgenese eine weitgehende Gipsumwandlung erforderlich, die mit Ionenaustauscherharzen nicht erreichbar werden kann.
- Zur Nachbehandlung von Teilbereichen, die aufgrund einer unvollständigen Gipsumwandlung mit Ionenaustauschern zu bildwirksamen Störungen führen.

Die Wirksamkeit beider Gipsumwandelungsverfahren ist jeweils stark von der Morphologie des Schadens und den maltechnischen Parametern abhängig. Hier konnte keine Systematik herausgearbeitet werden, vielmehr muß in kleinstem Maßstab, beispielsweise an Konturen der Malerei, mit Umschlägen gerechnet werden. Die für die jeweilige Malereipartie sinnvollste Behandlungsmethode kann deshalb nur vorab durch Handproben ermittelt werden. Dabei ist der gesamte Konservierungsprozeß zu betrachten, da beispielsweise die Applikation von Entsalzungskompressen im Anschluß an eine Gipsbehandlung schon bei der Vorfestigung vorbereitet werden muß.

3.4.7 Möglichkeiten der Reinigung mit Lasertechnologie

Bei der Laserreinigung werden die abzutragenden Schichten im Prinzip durch Absorbieren der Energie des Laserstrahls verdampft. Dabei erfordern helle Schichten aufgrund des höheren Reflektionsvermögens eine höhere Energiedichte, als dunklere Schichten. Zur Eingrenzung der Wirkung auf die abzutragende Schicht wird der Laserstrahl in sehr kurze Pulse mit hoher Energiedichte zerlegt. Die Wirkung des Laserlichts kann prinzipiell über die Wellenlänge, Energie, Dauer und Frequenz der Impulse, sowie über die Fokussierung gesteuert werden.

Für die Arbeitsproben zur Reduzierung aufliegender Gipskrusten und Schleier stand der speziell für die

⁹⁴ Kupfergrün, Bleimennige, Bleizinnigelb.

Reinigung von Kunst- und Kulturgut konzipierte ND:YAG-ArtLaser⁹⁵ zur Verfügung. Das System arbeitet mit einer festen Wellenlänge und basiert auf manueller (händischer) Zustellung, eine präzise Fokussierung des Laserstrahls auf die zu bearbeitende Schicht ist somit nicht möglich. Dieser Umstand wird kompensiert, indem die Fokussierung als Steuerungsgröße für die Wirkung der Laserstrahlen durch vorgegebene Unschärfe ausgeschaltet wird. Zur Absicherung einer gefahrlosen Handhabung wird weiterhin die Pulsdauer vorgegeben⁹⁶. Somit verbleiben nur Energiedichte und Pulsfrequenz als Steuerungsgrößen. Dabei lässt sich die Energiedichte sowohl am Gerät einstellen, als auch manuell durch Veränderung des Arbeitsabstandes beeinflussen.

Zur Eingrenzung der für die Arbeitsproben in Frage kommenden Laserparameter wurden zunächst an unterschiedlich pigmentierten und verschleierten Malereipartien Handproben mit verschiedenen Energiedichten und Pulsfrequenzen durchgeführt. Bereits im Ergebnis der Handproben erwies sich die Lasertechnologie aus folgenden Gründen als weitgehend ungeeignet:

- An den Wandmalereien in Bergen sind die abzureinigenden aufliegenden Schleier in der Regel heller, als die Malerei. Ihre Entfernung erfordert somit mehr Energie, als die Malschicht ohne Beschädigung absorbieren kann. Die Abtragsschwelle der Schleier liegt ganz offensichtlich über der Schädigungsschwelle der Malerei. Da die aufliegenden Schleier außerdem keine geschlossene Schicht darstellen, dringt ein Teil des Laserlichtes durch den Schleier hindurch auf die Malschicht. Durch die Absorption der durch den Schleier dringenden Laserstrahlen wird die Malschicht bereits vor Erreichen der für die Entfernung der Schleier erforderlichen Energiedichte geschädigt. Das Risiko steigt mit zunehmendem Kontrast zwischen Gipsschleier und Malschicht.
- Eine Ausnahme stellen verglaste bzw. glasisg verkrustete Malschichtpartien dar. Hier verhindern offenbar die Verglasungen ein Ankoppeln des Lasers an der Malschicht. Die Verglasungen ihrerseits reagierten auch bei maximal möglichem Energieeinsatz augenscheinlich nicht auf die Laserbehandlung⁹⁷.

Aufgrund der somit absehbaren extremen Disproportion zwischen erforderlichem Aufwand und verbleibenden Einsatzmöglichkeiten des verfügbaren ReinigungsLasers wurden die Arbeitsproben nicht fortgeführt.

Prinzipiell wäre der Einsatz von Faserlasern denkbar, die präzise auf die zu entfernenden Schleier fokussiert und anhand von 3D-Scans automatisch über die zu bearbeitende Oberfläche geführt werden. Bisher am Markt verfügbare Systeme bieten bei vertretbaren Kosten⁹⁸ jedoch weder die Fokussiergenauigkeit, noch die flächige Auflösung, die für eine sicherere Reproduktion der Topographie einer Wandmaleroberfläche erforderlich wären [GOM 2008]⁹⁹.

⁹⁵ Festkörperlaser auf der Basis von neodymdotiertem Yttrium-Aluminium-Granat des Herstellers Lambda Scientifica. Leistung 50-350m, Frequenzbereich Einzelblitz – 30 Hz, Wellenlänge 1064nm [Taubert 2009].

⁹⁶ 10ns [Klotzbach 2009].

⁹⁷ Wahrscheinlich durchdringt ein Großteil des Laserlichts die verglaste Schicht und wird vom Putz absorbiert, ohne das dessen Schädigungsschwelle erreicht wird.

⁹⁸ Hier wären die Kosten einer chemischen Gipsbehandlung gegenzurechnen.

⁹⁹ Konkret wären über 400m² Wandmalerei zu bearbeiten. Am Markt führende Systeme sind beispielsweise bei einer Fläche von 5*2m auf eine Fokussierung von $\pm 0,1$ mm bei einem Punktabstand von 0,2mm beschränkt [GOM 2008]. Dies reicht nicht für die sichere Abbildung eines übertünchten Putzkorns.

4 Diskussion

Mit der Vorlage einer detaillierten, durch umfangreich analysierte Arbeitsproben abgesicherten Konservierungskonzeption für die Wandmalereien in der Marienkirche in Bergen auf Rügen wurde das grundsätzliche Projektziel, die Erarbeitung und Erprobung einer modellhaften und nachhaltigen Konservierungskonzeption für großflächig durch Rauchgas- und Nitratemissionen geschädigte Raumfassungen unter den spezifischen Bedingungen des ostseetypischen Wechselklimas und der norddeutschen Backsteinarchitektur, erreicht. Nachhaltigkeit und Modellhaftigkeit der Projektergebnisse gründen sich dabei unter anderem auf neue Erkenntnisse über die Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen der Belastung mit hochhygrokopischen Nitraten und den Schäden durch Gipskristallisation, sowie die daraus abzuleitenden differenzierten und zurückhaltenden Konservierungsmaßnahmen. Durch die Adaption artfremder Meßgeräte konnten neue Möglichkeiten zur Mauerfeuchteanalyse, sowie zur großflächigen Erfassung hygrokopischer Salze aufgezeigt werden.

Die häufige Behinderung der Kompressenentsalzung fragiler Wandmalereien durch die erforderlichen Schutzkaschierungen aus Japanpapier konnte durch die erarbeiteten Kombinationen aus Kaschierungstechnik und Kompressenrezeptur umgangen werden.

Die im Ergebnis der Voruntersuchungen aufgestellte Strategie zur Lösung der im Projektantrag formulierten Aufgaben hat sich grundsätzlich als praktikabel erwiesen. Gemessen an der Komplexität der Aufgabenstellung waren verhältnismäßig geringe Korrekturen der angewandten Methoden gegenüber dem ursprünglichen Arbeitsplan erforderlich. So konnte beispielsweise bei der Erfassung von Materialkennwerten zur Optimierung von Kompressenrezepturen Ressourcen freigesetzt werden, die die Erprobung weiterer Diagnosetechniken und Geräte zur modellhaften Schadensanalyse des mittelalterlichen Mauerwerks als Bildträger ermöglichten.

Durch die verschiedenen Kooperationspartner konnte – der Komplexität der Aufgabe entsprechend - ein breites Spektrum unterschiedlicher Fachkompetenz für das Projekt mobilisiert werden. Die Zusammenarbeit verlief reibungslos, je nach konkreter Aufgabenstellung in enger Verzahnung mehrerer Partner. Dies betrifft sowohl die Zusammenarbeit der Restauratoren vor Ort mit der Amtlichen Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen in dem iterativen Prozeß der Konzeption, Ausführung, Analyse und Optimierung von Arbeitsproben, als auch die periodische Evaluierung der Projektergebnisse, die durch die Mitglieder des wissenschaftlichen Fachbeirates in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Kultur und Denkmalpflege vorgenommen wurden. Durch die Besetzung des Fachbeirates mit international renommierten Spezialisten konnte dabei eine hohe Qualität der Projektergebnisse gesichert werden.

5 Öffentlichkeitsarbeit, Dissemination und Fortführung der Projektvorhaben

Die Projektergebnisse werden nach Abschluß des parallel laufenden DBU-Forschungsprojektes AZ 23375-45 „Sanierung des Grünalgenbefalls“ an der Kirche Poseritz in einem gemeinsamen öffentlichen Kolloquium vorgestellt. Dazu werden Fachvorträge und Präsentationen der einzelnen Projektbereiche und – beteiligten vorbereitet.

Der Abschlußbericht wird zunächst über die Online-Datenbank hericare des Hornemann–Instituts des Fachbereichs Konservierung und Restaurierung der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen veröffentlicht.

Über den Projektabschluß hinaus sind weitere Publikationen der Projektergebnisse, sowie deren Vorstellung in Fachvorträgen vorgesehen.

Die Ergebnisse des Projektes werden durch den Antragsteller in den unmittelbar anschließenden Maßnahmen zur Konservierung und Restaurierung der Malereien umgesetzt.

Über die Sanierung des Wandmalereizyklus in der Marienkirche zu Bergen hinaus können die Ergebnisse des Projektes bei der Konservierung zahlreicher, durch Umwelteinflüsse gipsgeschädigter Wandmalereien in der nordostdeutschen Küstenregion genutzt werden. Großflächige Gipsbelastungen sind beispielsweise an den mittelalterlichen Malereien in der Kirchenruine St. Nicolai in Anklam, in den Gewölbemalereien der Kirche St. Peter und Paul in Teterow, in der südlichen Turmseitenhalle in der Nicolaikirche zu Wismar und in der Turmhalle der Georgenkirche zu Wismar bekannt.

Die Projektergebnisse werden weiterhin zur Erforschung klimabedingter Zerfallsfunktionen an Kulturgütern im Rahmen des 2009 gestarteten Projektes „Climate for Culture“ im 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union beitragen, für das die Marienkirche in Bergen als Fallstudienobjekt gelistet ist.

Auf der Basis der umfangreichen, innerhalb des Projektes abgerundeten Voruntersuchungen wird mit der Einrichtung eines Klimamanagements durch geregelte Lüftung und Optimierung der Bankheizung im Bauabschnitt 2010 für eine nachhaltige Passivierung der Schadenspotentiale verbleibender Vergipsungen der Malschicht gesorgt. Die dabei verfolgte Minimierung von Tauwasserausfällen und Klimaschwankungen kommt jedoch nicht nur den Wandmalereien zugute. Die Schädigung wertvoller Oberflächen durch Klimaschwankungen ist ein in den mittelalterlichen Kirchen der Region allgemein ungelöstes Problem, das häufig infolge unkontrollierter Luftwechsel oder falschen Lüftungsverhaltens auftritt. Die Mehrzahl dieser Bauten sind ungeheizt, oder - wie St. Marien Bergen – lediglich mit veralteten Bankheizungen ohne klimageführte Regelungen ausgestattet. Aufwendigere Heizsysteme sind in der Regel mittelfristig nicht finanzierbar. Bisher realisierte Lösungen zur Klimaregelung in historischen Sakralräumen durch kontrollierte Lüftung und optimierte Gestühlsheizung sind vor allem auf den alpinen, sowie den Süd- und Mitteldeutschen Raum beschränkt¹⁰⁰, während entsprechende Erfahrungen unter den speziellen klimatischen und bauphysikalischen Bedingungen der mittelalterlichen Backsteinarchitektur im südlichen Ostseeraum kaum vorliegen.

Durch Synergien mit der laufenden Umsetzung von ähnlichen Projekten zur geregelten Lüftung in den regional benachbarten Dorfkirchen von Mellenthin/ Usedom und Poseritz/ Rügen können die Erkenntnisse zur Lösung der Problematik verdichtet und für die Übertragung auf weitere Objekte in der Region verallgemeinert werden.

6 Fazit

Die insoweit beschriebene Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Projektziele hat sich bewährt. Änderungen der Zielsetzung sind aus derzeitiger Sicht nicht erforderlich, sollten aber verhandelbar bleiben, sofern es zukünftig zu Änderungen der Rahmenbedingungen kommt.

¹⁰⁰ Dormentbau der Klosteranlage Maulbronn, Kaiser- und Mariendom zu Speyer, Schloß Schönbrunn, Wien.

Quellen- und Literaturverzeichnis

Ungedruckte Quellen

- Berckenhagen 1952 Berckenhagen, E.. Die mittelalterlichen Wandmalereien in Stralsund und im westlichen Pommern mit einem Beitrag zum Meister-Bertram-Problem. Inauguraldissertation an der Freien Universität Berlin. Berlin 1952
- Delta-T 2004 Delta-T devices (Hrsg.). User Manual for the Profile Probe type PR2. Cambridge 2004
- Fritz 1992 Fritz, E.. Reinigungs- und Umwandlungsverfahren mit Ammoniumkarbonat - Möglichkeiten und Gefahren beim Einsatz an Wandmalereien. Diplomarbeit. Fachhochschule Hildesheim / Holzminden, Studiengang Restaurierung, Fachrichtung Wandmalerei / Stein. Hildesheim 1992
- GOM 2008 GOM - Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH. „Industrielle 3D-Messtechnik“. Online im Internet unter <http://www.gom.com/DE/index.html> am 24.11.08.
- [Holst 2004] Holst., J.: Bergen, St. Marien. Sockelzone. Bauhistorischer Befundbericht. Typoscript Hoisdorf 2004.
- Leonhard und Lukas 1990 Leonhard, H., Lukas, R.. Wasserbenetzungsgerät: Zerstörungsfreie Bestimmung der Saugfähigkeit von Oberflächen poröser Baustoffe. Stuttgart: Fraunhofer Institut für Bauphysik, 1990
- Weitzel 2000 Weitzel, S.-M.: Die romanischen Wandmalereien im Chor und Querschiff der Marienkirche Bergen/ Rügen – Original und Erfindung. Magisterarbeit. Ernst-Moritz-Arndt- Universität Greifswald. Greifswald 2000.
- Weiß und Johannsen 2007 Weiß, A., Johannsen + Partner. Abschlußbericht zum Forschungsprojekt AZ 23213 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Putbus 2007.
- Wilhelmi 2008 Wilhelmi, A.. Vergleichende Analyse verschiedener Feuchtemessverfahren zur Ermittlung des Flächen- und Tiefenprofils im Mauerwerk. Masterarbeit. Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Bauingenieurwesen. Potsdam 2008.

Gedruckte Literatur

- Arendt/ Schaft/ Schulze 1985 Arendt, C.; Schaft, P.; Schulze, J.. Trockenlegung. Arbeitskreis Bautechnik der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger (Hrsg.). 1985
- Arendt 1993 Arendt, C.. „Raumklima in großen historischen Räumen“. Köln 1993
- Auras und Melisa 2002 Auras, M., Melisa, G.. „Kompressenentsalzung - Wirkungsweise, Materialien, Anwendung, Fallbeispiele“. In: Institut für Steinkonservierung e.V. (Hrsg.). „Salze im historischen Natursteinmauerwerk“. Mainz 2002, S. 41
- Baatz und Paschinger 1995 Baatz, W., Paschinger, H.. Salzausblühungen nach Kompressen mit Ammoniumkarbonat, eine Abschätzung. In: Österreichische Sektion des

International institute for conservation of historic and artistic works (Hrsg.).
Restauratorenblätter Band 16. Wien 1995 S. 91 – 94

- Bär 1994
Bär, H. H.. Untersuchungen zum Einsatz von Ionenaustauschern auf calcitischen Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung der Abnahme von Kalkkrusten auf Wandmalereien. In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei.“ Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 125-128.
- Becker 2004
Becker, K.-H.. Änderungen der Atmosphäre im globalen Wandel – Bedeutung für den Erhalt der Kulturgüter. In: Brickwedde, F. und Weinmann, A. (Hrsg.): „Nachhaltiger Schutz des kulturellen Erbes – Umwelt und Kulturgüter.“ Berlin 2004, S. 37-56.
- Ettl und Krus 2002
Ettl, H.; Krus, M.. „Salzreduzierung mit verschiedenen Kompressen am Schloss Frankenberg und begleitende rechnerische Untersuchungen.“ In: Leitner, H.; Laue, S.; Siedel, H. (Hrsg.). „Mauersalze und Architekturoberflächen. Tagungsbeiträge. Hochschule für Bildende Künste Dresden. 1. bis 3. Februar 2002“. Dresden 2003, S 138-142
- Fritz 1994
Fritz, E.. „Reinigungs- und Rekonversionsverfahren an Wandmalereien. Der Einsatz physikalisch-chemisch wirkender Nassreinigungsverfahren und ihre Problematik“. In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei.“ Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 77-89
- Jägers 1994
Jägers, E... Aktuelle Methoden für die Konservierung von Wandmalereien. In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei.“ Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 30-42.
- Leitner 1995
Leitner, H.. Fassadenrestaurierung am Beispiel zweier gemalter Fassaden des späten 16. Jahrhunderts. In: Österreichische Sektion des International institute for conservation of historic and artistic works (Hrsg.). Restauratorenblätter Band 16. Wien 1995, S. 165-166
- Leitner 2002
Leitner, H.. „Die Rolle des Restaurators im interdisziplinären Feld der Erhaltung von salzbelasteten Wandmalereien“. In: Leitner, H.; Laue, S.; Siedel, H. (Hrsg.). „Mauersalze und Architekturoberflächen. Tagungsbeiträge. Hochschule für Bildende Künste Dresden. 1. bis 3. Februar 2002“. Dresden 2003, S 191-197
- Leonhardt und Lukas 1989
Leonhardt, H.; Lukas, R. Kiessl, K.. Vereinfachte Bestimmung bauphysikalischer Kennwerte an Gesteinsoberflächen. In: Jahresberichte Steinzerfall - Steinkonservierung 1989, 1991
- Klotzbach 2009
Klotzbach, U... Verfahrensgrundlagen/ Gerätetechnik. In: Wiedemann, G., Klotzbach, U, Bauer-Bornemann, U. (Hrsg.). Laseranwendung in Restaurierung und Denkmalpflege. Tagung am 30. und 31. Januar 2009 in Osnabrück. Stuttgart 2009, S. 51- 65
- Matteini und Nepoti 1996
Matteini, M., Nepoti, M. R.. Analytische Kontrolle der Methoden zur Beseitigung von Gips in der Wandmalerei und bei Kunstobjekten aus Stein. In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei.“ Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 67-76
- Matteini 2002
Matteini, M.. Mineralische Festigungsmittel zur Konservierung von Objekten aus porösem Material aus dem Bereich der Kunst und Archäologie. in: Leitner, H., Laue, S., Seidel, H. (Hrsg.). Mauersalze und

Architekturoberflächen. Tagungsbeiträge. Hochschule für Bildende Künste Dresden. 1. bis 3. Februar 2002“, Dresden 2003

- Oeter 1996 Oeter, M.. „Die Reinigung von Wandmalerei mit Ionenaustauschern: Beobachtungen und Ergebnisse nach den ersten Jahren der Anwendung.“ In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei“. Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 122-124
- Ohle/ Baier 1963 Ohle, W., Baier, G.. „Die Kunstdenkmale des Kreises Rügen“. Leipzig 1963
- Pamplona et. al. 2008 Pamplona, M., Melo, M. J., Tiano, P.. „CONTACT-SPONGE METHOD FOR IN SIZUI EVALUATION OF WATER REPELLENT AND CONSOLIDANT TREATMENTS“. In: Tiano, P. und Pardini, C. (Hrsg.). In situ Monitoring of Monumental Surfaces. Proceedings of the International Workshop SMW08 27-29 October 2008 Florence, Italy. Florenz 2008, S. 247 ff.
- Paschinger 1996 Paschinger, H.. „Bemerkungen zur Ammoniumkarbonat-Methode an Beispielen in Österreich“. In: In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei“. Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 91-97
- Preis 1996 Preis, J.. „Vergleich ausgewählter Methoden zur Gipsumwandlung an Naturstein“. In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.): „Konservierung von Wandmalerei.“ Arbeitshefte des Bayrischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 104. München 2001, S. 91-97
- Riedel 2002 Riedel, J.. „Zur Konservierung gipsbelasteter Außenwandmalerei.“ In: Leitner, H., Laue, S., Seidel, H. (Hrsg.). Mauersalze und Architekturoberflächen. Tagungsbeiträge. Hochschule für Bildende Künste Dresden. 1. bis 3. Februar 2002“. Dresden 2003, S. 185-189
- Taubert 2009 Taubert, S.. Lasertechnik am Schlosskapellenportal des Dresdner Residenzschlosses Problemfall „Ölfarbe auf Sandstein“. In: Wiedemann, G., Klotzbach, U, Bauer-Bornemann, U. (Hrsg.). Lasieranwendung in Restaurierung und Denkmalpflege. Tagung am 30. und 31. Januar 2009 in Osnabrück. Stuttgart 2009, S. 51- 65
- Wendler 1996 Wendler, E.. „Zur Konservierung salzbelasteter poröser Materialien - Erfahrungen, neue Wege und Ausblicke“. In: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.).“Salzschäden an Wandmalereien. Beiträge einer Fortbildungsveranstaltung der Restaurierungswerkstätten des BLfD am 28./ 29. 11.1988. Arbeitshefte des BLfD“, Band 78. München 1996, S. 53-55
- Wendler et al. 2002 Wendler, E., Hestermann, M., Rother, S.. „Konservierung versalzter und feuchter Mauern aus Sandstein. Fallstudie an der Maxtormauer in Nürnberg.“ In: Leitner, H., Laue, S., Seidel, H. (Hrsg.). Mauersalze und Architekturoberflächen. Tagungsbeiträge. Hochschule für Bildende Künste Dresden. 1. bis 3. Februar 2002“. Dresden 2003, S. 143-147
- WTA Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.). „Zerstörungsfreies Entsalzen von Naturstein und anderen porösen Baustoffen mittels Kompressen. Merkblatt 3-13-01/D“. München 2003

Verzeichnis der Anlagen

Holst 2008	Holst, J.Ch.. Bergen, Stadtkirche St. Marien Kreis Rügen. Bauhistorische Schadensanalyse. Typoscript Hoisdorf 24.10.08
Weiß 2009	DBU-Projekt AZ 22116-45 St. Marien Bergen - Untersuchungen zum mikrobiellen Berfall. Probenliste vom 11.8.2009
Rudolph 2009	Rudolph, C. St. Marien Bergen. Nachweis von Bakterien und Schimmelpilzen. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 16.09.2009
Schlütter 2003	Schlütter, F.. Vorläufige Zusammenfassung der materialkundlichen Untersuchungen an den Wandmalereien der St. Marien Kirche Bergen / Rügen. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 16.10.2003
Schlütter 2007	Schlütter, F.. St. Marien Kirche Bergen - Feuchtemessungen. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 27.09.2007
Schlütter 2008-1	Schlütter, F.. DBU Projekt St. Marien Bergen Salzanalysen. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 27.08.2008
Schlütter 2008-2	Schlütter, F.. St. Marien Bergen - Quantitative chemische Salzanalysen (Proben vom Dezember 2007) . Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 10.11.2008
Schlütter 2008-3	Schlütter, F.. DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 14.08.2008
Schlütter 2008-4	Schlütter, F.. DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 14.9..2008
Schlütter 2008-5	Schlütter, F.. DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 16.9..2008
Schlütter 2008-6	Schlütter, F.. DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe. Untersuchungsbericht der Amtlichen Materialprüfungsanstalt (MPA) Bremen) vom 14.9..2008



Dipl. Ing.
Jens Christian **Holst**
Bauforschung
und Denkmalpflege

Oetjendorfer
Landstraße 17
22955 **Hoisdorf**
tel: 04107 5393
fax: 04107 5499

Schillstraße 38
18439 **Stralsund**
tel: 03831 297949

0179 780 4593

jenschristian.holst
@web.de

Ht, 24.10.08

Bergen, Stadtkirche St. Marien
Kreis Rügen
Bauhistorische Schadensanalyse

V o r a b z u g

Zusammenfassung¹

Jaromars Kirche, nach 1170 bis 1193

Der Kernbau der heutigen Kirche umfaßt Chor, Querhaus und Langhaus einer turmlosen, balkengedeckten Basilika. Sie diente mutmaßlich zunächst als Missionskirche anlässlich der Volksversammlungen der Ruganer, die auf dem Berg vor der Fürstenburg auf dem Rugard abgehalten wurden, vermutlich auf der heutigen Marktfläche. Ihr **Baubeginn** mag schon **bald nach** der Fertigstellung des stilistisch nächstverwandten Baues, der Benediktinerkirche am Ort der Seeländer Volksversammlungen in Ringsted anlässlich des großen Kirchenfestes der Erhebung des Heiligen Knud Lavard **1170** zu datieren sein, an dem Jaromar I vermutlich teilnahm.

Der **Baugrund** unter der gesamten Kirche scheint durchgehend aus Geschiebesand zu bestehen. Der bis in das 19. Jahrhundert nördlich der Kirche auf dem Markt, also noch weiter bergauf nachgewiesene Teich kann an dieser Stelle kaum natürlich gewesen sein, wird vielmehr im Zusammenhang mit der Marktanlage wohl noch in der Zeit Fürst Jaromars I. zur Wasserversorgung angelegt worden sein. Dieser Teich muß eine künstliche Lehmauskleidung besessen haben.

Stauende **Nässe** ist entsprechend auf der abfallenden Süd- und Westseite nicht zu erwarten, zumal seit südseitig der Sockel wieder ganz freigelegt wurde. Auf der Nordseite allerdings haben sich Kulturschichten bis über 1m hoch seit Erbauung der Kirche angelagert. In diesen

¹ Zusammengefaßt werden hier Beobachtungen und Schlußfolgerungen aus mehreren Arbeitsaufenthalten seit 2004; vgl. u.a. unseren bauhistorischen Bericht zur Sockelzone vom 22.06.04; unseren bauhistorischen Bericht zum Pförtnerhaus vom 14.10.06; unseren Vermerk zu Farb- und Putzbefunden am Turmgiebel vom 17.10.06 sowie die Übersichten zur Baugeschichte „Neues zur Baugeschichte von St. Marien“ und „Bauten und Bauspuren des Klosters“ in: Der Klosterhof und die Kirche St. Marien in Bergen auf Rügen (hrsg. von der Stadt Bergen und der GSOM mbH). Bergen 2005, S. 22-48 und 49-59. Dort sind die wesentlichen Literaturangaben zu entnehmen; in dieser Zusammenfassung wird daher auf Quellen- und Literaturnachweise verzichtet, ebenso auf Danksagungen. Auch wird die Diskussion der Datierungen und ihrer historischen Interpretation hier ausgespart. Im Hinblick auf den Gegenstand des Forschungsvorhabens, für das dieser Bericht geschrieben wird – die bauzeitliche Ausmalung der romanischen Ostteile – werden Schadensbefunde des Westbaues nur kurz und jüngere Bauphasen nur insoweit besprochen, als sie vermutlich Auswirkungen auf diese Innenwände hatten.

humosen und bauschutthaltigen, wohl auch mit Pflasterschichten durchsetzten Lagen staut sich Oberflächenwasser, das von den bergauf gelegenen Grün- und Gartenflächen abläuft, an der Kirchenmauer, ehe es bis in den gewachsenen Sand durchgesickert ist. Entsprechende Feuchtigkeit ist entlang der Kirchennordseite auch im Inneren zu erkennen.

Breite und Tiefe der **Fundamente** sind nur an einer Stelle vollständig erkundet: die einstige südliche Nebenapsis ruhte in zwei Meter breitem Graben auf drei Lagen in Sand gebetteter Findlinge, entsprechend gut einem Meter Tiefe unter dem bauzeitlichen Geländeniveau; nur die oberste Findlingslage wurde mit Mörtel übergossen und darauf Ziegelbrocken und Kalkkiesel verteilt. Da romanische Bauten auch im Fundament in der Regel auf geebnetem Bauplatz in einem Zuge durchgeführt wurden, dürften alle Außenmauern so gegründet sein. Die Gebäudekanten ruhen jeweils auf besonders großen, weiter vortretenden Steinen. Soweit Stauässe ausgeschlossen werden kann, hat dieses Fundament hohe kapillARBrechende Wirkung.

Geschiebesand ist ein fester Baugrund - solange er flach liegt, und kein Grundwasser strömt, sind statische Probleme kaum zu erwarten. Tatsächlich zeigt der romanische Kirchenbau (ohne den erst in zweiter Bauphase hinzugefügten Turm) im ursprünglichen Mauerwerk keinerlei **Senkungen** und nur minimale **Kippungen**. Da romanische Bauten über dem gesamten Grundriß lagenweise aufgeführt wurden, wuchs auch die Belastung zunächst gleichmäßig – erst in der Höhe sind hier die Querhausstirnen vorgezogen worden.

Als die Mauern ausgelegt wurden, wurde der **Grundriß** offenbar einer **Planänderung** unterworfen – nicht in der Konzeption, aber in Details und den Proportionen. So liegt die Nebenapsis auf einem Fundament von größerem Radius teilweise nur randlich auf. Die Vorlagen an den Ostkanten von Querhaus und Chor waren im Fundament überhaupt nicht vorbereitet. Beides hat nicht erkennbar zu Verformungen geführt. Ungewöhnlich, unter den romanischen Bauten Norddeutschlands einzigartig, war ihr Zweck offenbar, dem Schub der Apsisbögen entgegenzuwirken.

Erhebliche **Abweichungen** vom rechten Winkel, früher als Indiz mangelnden Könnens gerügt, stellen ebenfalls sicher keine Verformung dar, sondern sind so von vornherein ausgelegt. Zumindest die konische Aufweitung des Langhauses nach Westen dürfte auf Absicht beruhen. Ohne daß ein Rißbild erkennbar ist, weist die Ostmauer des südlichen Querhauses einen erheblichen Fluchtknick einwärts auf, besonders deutlich oberhalb des Anschlusses der einstigen Nebenapsis. Was hier auf den ersten Blick doch wie eine Verformung aussieht, die von dem Schub der einstigen Apsidenkalotte im noch baufrischen, weichen Zustand bewirkt wurde, erweist sich bei genauerer Betrachtung eben als Konsequenz dieses Knicks der Mauerflucht bereits vom Kirchenboden an – vielleicht weil hier ein Altar schon zu sehr frühem Zeitpunkt gemauert (bzw. provisorisch eingehaust) war und so ein Fluchten der Mauer verhinderte.

Die aufgehenden Mauern des romanischen Baues bestehen, wie vor allem die ergrabene Nebenapsis zeigt, zunächst in einer Höhe von etwa 0,5m aus einem 1,30 m starken **Sockel** mit äußerer und innerer Verkleidung aus zwei Lagen Feldsteinquadern, im Kern aus kleineren Feldsteinen, in reichlich Mörtel vergossen. Soweit nicht die Mörtelfugen Wasser ziehen, weist dieser Sockel aus völlig kapillardichtem Gestein **Spritzwasser** von der Traufe weitgehend ab, und dürfte auch gegen **aufsteigende Feuchte** zusätzlich sperren. Er ist allerdings bergseitig schon lange, vermutlich schon seit dem späteren Mittelalter in den aufgewachsenen Kulturschichten verschwunden, die hier unverzichtbare Denkmalsubstanz sind – die spätgotischen Kapellenanbauten gehen fast von der heutigen Höhe aus -, so daß die notwendige Trockenlegung hier auf andere Weise erfolgen muß, etwa durch Vertikaldrainage in den sandigen Untergrund.

Über den beiden Feldsteinlagen folgen die ersten Backsteinschichten der Mauer. Von hier ab bildet vermutlich auch Backstein den MauerkerN, so daß nun mit einer hohen kapillaren Saugfähigkeit durch den gesamten Mauerquerschnitt zu rechnen ist. Allerdings besteht zumindest die äußere Mauerschale aus gut bis hoch gebrannten Steinen. Der Mörtel ist recht fett, mittelsandig bis feinkiesig, und praktisch ohne Kalkspatzen, wurde demnach aus gesumpftem, nicht aus frisch gelöschtem Kalk hergestellt. Folglich war Luftzutritt für die Aushärtung entscheidend; zumindest im Sockel sind deutliche Unterschiede zu erkennen.

Den oberen Abschluß des Sockels bildet die ungewöhnlich aufwendige, klassischen Vorbildern nahekommende attische Basis. Der ungewöhnlich große Rücksprung um 0,16 bis 0,20m besitzt durch den **Profilablauf** zusätzliche Oberfläche, so daß hier eine sehr große **Wasseraufnahme** zu vermuten ist, zumindest zur Wetterseite bzw. unter den Traufen (d.h. überall, nur nicht an den Giebeln des Querhauses). Wenn auch hier die Formsteine, wie es im Turm noch zu erkennen ist, bevorzugt hellrot, d.h. nicht sehr hoch gefeuert waren, dann war die Saugfähigkeit damals noch höher als heute; seit der Restaurierung um 1900 sind sie allerdings fast durchweg durch höher gefeuerte ersetzt. Zusätzlich ist ein Feuchtestau in dieser Zone zu vermuten, weil unmittelbar darunter der Feldsteinsockel liegt, der die kapillare Ausbreitung behindert, bzw. im Frühjahr die Kälte länger hält und Kondensfeuchte anzieht.

Das einzige wahrscheinlich ursprüngliche **Portal** der Kirche in ihrem ältesten Zustand ist an der rundbogigen Laibung in der Mitte der Langhaussüdwand zu erkennen. Es dürfte sich um das Laienportal für Männer gehandelt haben. Daß ihm symmetrisch auf der Nordseite ein Frauenportal entsprach, kann nur noch vermutet werden. Ebenso offen bleibt ein ursprüngliches Portal in der Westfassade – das jetzige gehört stilistisch zur zweiten Bauphase. Bemerkenswert ist, daß der nördliche Querhausgiebel bis heute kein Portal aufweist und auch das südliche sicher erst in der zweiten Bauphase eingebrochen wurde. Ebenso kann am Chor ein Eingang ausgeschlossen werden. Die Kirche besaß demnach nur im Bereich des Langhauses zwei oder drei nicht sehr große Türöffnungen – gute Voraussetzungen für ein verhältnismäßig stabiles Raumklima.

Die schmalen **Fensteröffnungen** – je zwei in den Querhausgiebeln, je eins in den Chorseiten- und den Querhauswestwänden, vermutlich je eins in den Nebenapsiden und vielleicht drei in der Hauptapsis sowie je fünf in beiden Seitenschiffs-, wohl auch in den Hochschiffswänden – waren in der zeittypischen Weise zum schmal eingezogenen Backsteingewände in Wandmitte konisch eingezogen. Daß daran bereits Festverglasungen angeschlagen werden sollten, bleibt allerdings Hypothese; die erhaltene Rautenverglasung auf der Westseite des Südquerhauses ist immerhin mittelalterlich (älter als der 1370 d abgeschlossene Umbau).

Die **Mauern** von Querhaus und Chorquadratum sind ringsum nach oben hin verjüngt – nicht, wie bei anderen romanischen Bauten, nur durch Schrägstellung („Böschung“) der Innenwand, sondern auch der Außenwand. Bisher konnte das Maß der Schrägstellung außen nicht an allen Flächen ermittelt werden; sie beträgt an der Ostwand des Nordquerhauses um 0,25m, an West- und Nordwand des Nordquerhauses und der Chornordwand jeweils um 0,15m. Im Inneren, wo überall exakt gemessen werden konnte, beträgt die Neigung (ohne Berücksichtigung der Absätze, wiederum auf die Gesamthöhe hochgerechnet) bei den Ostwänden beider Querhäuser jeweils 0,13m, an beiden Chorwänden sowie der West- und Nordwand des Nordquerhauses jeweils 0,08m, im Südquerhaus in der Südwand 0,05m und in der Westwand 0,03m. Diese Zahlen lassen nicht nur erkennen, daß es sich keinesfalls um spätere Verformung handelt (wogegen auch das Fehlen von Rissen im Ostbau spricht), vielmehr um eine dezidierte Systematik. Jedenfalls bedeutet die auswärtige Schrägstellung einen entsprechend erhöhten **Wassereintrag** bei Regen, zumal seit der Bau nur noch minimale Traufüberstände besitzt.

Die außergewöhnliche Böschung der Mauern auf der Außenseite könnte hier bereits im Hinblick auf ein geplantes **Bildprogramm** auf den Innenwänden angelegt worden sein – diese konnten so steiler gestellt bleiben, die perspektivische Bildverkürzung reduziert werden. Auch der Einzelbefund einer nur nachlässig abwärts verstrichenen Fuge unter dem bildtragenden **Putz** spricht für eine Gesamtplanung. Dieser Putz reichte bis zur Mauerkrone, wie einige Fragmente oberhalb der heutigen Gewölbe erkennen lassen, einschließlich deutlicher Spuren der Bemalung und Vorritzung – vor allem für einen monumentalen abschließenden Mäanderfries, der unterhalb der Gewölbe kaum sichtbar wird.

Diese Befunde lassen keinen Zweifel daran, daß der Kirchenraum ursprünglich mit flacher **Balkenlage** gedeckt war. Ob darauf nur eine oberseitige Dielung oder auch eine unterseitige, möglicherweise bemalte Bretterverkleidung zu rekonstruieren ist wie die gleichaltrige Decke von St. Michael in Hildesheim, wird sich kaum mehr klären lassen.

Unbekannt bleibt die ursprüngliche **Dachkonstruktion**, insbesondere die Frage des Traufüberstandes – die heutigen Giebelumrisse des Querhauses sind an keiner Stelle ursprünglich. Es sind sowohl zeitgenössische Dachwerke mit nur etwa 0,3m Überstand wie solche mit über 1m bekannt; auch der um die Ostteile ziehende Fries gibt darauf keine Auskunft. Selbst wenn der Überstand demnach größer zu rekonstruieren sein sollte als der heutige, schlug das **Traufwasser** je nach Windrichtung in Mauernähe am Boden auf, aber auch auf das Sockelprofil, und eine massive Durchfeuchtung der unteren Mauer war zumindest zeitweilig und örtlich wahrscheinlich. Besonders zu beachten ist, daß in allen vier Innenecken des kreuzförmigen Grundrisses von den Kehlen hochkonzentrierte Wassermengen anfielen (allerdings in einem Bereich, wo das Verhältnis von Außen- zu Innenoberfläche exponentiell zunimmt). Über die Kehlausbildung romanischer Dächer ist allerdings kaum etwas bekannt. Es darf vielleicht angenommen werden, daß hier hölzerne Rinnbäume verlegt waren und das Wasser von der Mauer ableiteten – sei es in der wahrscheinlicheren Form von verlängerten Kehlrinnen sich kreuzförmig durchdringender Dächer, sei es in der noch photographisch überlieferten Gestalt separater Querhausdächer, hinter denen das Wasser des Haupthausdaches zu Rinnen über den Chorseitenmauern geführt wurde, die es über die äußeren Kantenvorlagen hinweg ausspien, so wie auch auf den Querhausmauern vor 1896 solche Rinnen bestanden.

Die ausgeführte Ausmalung ist ein sicheres Indiz, daß zumindest die Ostteile, mit hoher Wahrscheinlichkeit aber auch das Langhaus überdacht und abgeschlossen waren. Es ist zumindest sehr wahrscheinlich, diese **Fertigstellung** mit der überlieferten Weihe durch den Bischof von Roskilde im Zeitraum 1191-93 bzw. die Berufung eines Konvents von Roskilder Benediktinerinnen im Jahre **1193** anzunehmen.

Jaromars Turm, nach 1193 bis vor 1218

Der Riegelurm im Westen der Kirche ist in seinen zweieinhalb Geschossen unterhalb des Mittelturmes in einer zweiten Bauphase der bereits vollendeten Kirche angefügt worden. Er diente seiner Anlage nach der Selbstdarstellung des Fürsten im Zusammenhang mit der Planung einer Pfalz, auf die eine bauzeitliche Tür aus dem Obergeschoß hinweist. Der **Baubeginn** erfolgte **frühestens**, nachdem die Kirche **1193** dem Nonnenkonvent übertragen worden war.

Daß der Turm nicht Bestandteil der ursprünglichen Planung war, geht schon aus seiner **Stellung** unmittelbar über dem westwärts abfallenden Hang hervor – möglicherweise mußte hier das Plateau sogar etwas durch Aufschüttung verbreitert werden, und darauf zumindest die Westmauer teilweise gegründet. Oder gab es hier zuvor eine nun eingeebnete Wall-Graben-Befestigung des Kirchplatzes? Die scharfe **Abscherung** der Südwestecke – ein Schaden, wie man ihn sonst von Erdbeben kennt – deutet auf eine entsprechend scharfe Grenze im Untergrund gerade unter dieser Mauer.

Auf einen für solche Lasten nicht geeigneten **Baugrund** verweisen auch die dramatischen Rißbilder in Süd- und Nordmauer, die ein **Kippen** der ganzen Westmauer anzeigen und nach wiederholten Reparaturen erst mit der Einbringung gewaltiger Stahlanker in der Restaurierung um 1900 beruhigt werden konnten. Diese Bewegung scheint seither zum Stillstand gekommen zu sein – die Ausmauerungen von 1900 sind nicht mehr aufgerissen. Allerdings dürften die Anker unter großer Spannung stehen.

Das **Fundament** ist wiederum aus Findlingen verlegt, mit Sand verspült. Seine Tiefe ist unbekannt. Auf der Südseite ist zu erkennen, daß das **Abscheren** der westseitigen Schale sogar den großen Findling unter der Südwestkante hat durchbrechen lassen.

Der **Sockel** setzt auch hier mit zwei grob zugerichteten Quaderlagen ein, von denen aber nur die obere schon in Mörtel gesetzt ist, darüber folgen aber deutlich mehr Backsteinschichten bis zum vereinfachten Abschlußprofil als an der Kirche. Ob der Mauerkerne hier wiederum im unteren Bereich aus Feldsteinen besteht, bleibt unbekannt. Der Sockelvorsprung mißt hier insgesamt nur knapp 0,1m; auch nimmt das reduzierte Profil wesentlich weniger Nässe auf. Einem Feuchtestau ist auch durch die wesentlich größere Höhe des Profils über dem Feldsteinsockel vorgebeugt.

Schon aufgrund der erheblichen Mauerstärke ist am Westbau ein Durchschlagen der äußeren **Feuchtigkeit** bis auf die Innenseite weniger wahrscheinlich. Schrägstellungen der **Mauer** sind am Westbau zumindest außen nicht erkennbar, was gleichfalls zu geringerer Durchfeuchtung beitragen dürfte.

Die Vorhalle im Erdgeschoß wurde durch das erhaltene **Westportal** vom abfallenden Kirchplatz her erschlossen, der vermutlich als Gerichtsplatz diente. Vor diesem Portal würde jüngst bei Pflasterarbeiten die vermutlich noch bauzeitliche **Treppe** aus großen, nur grob beschlagenen Granitplatten aufgedeckt. In die Kirche hinein führt noch jetzt das prächtige, kreuzrippengewölbte **Baldachinportal**. Im Gegensatz zu den Außenportalen war dieses – in beiden Gewänden jeweils beidseitig reich profiliert – offenbar nicht verschließbar, bildete demnach vermutlich nur den Rahmen für den prachtvollen Einzug des Herrschers bzw. für seinen Platz im Gericht. In derselben zweiten Bauphase wurde nicht nur dieses Portal in die Westmauer der älteren Kirche wahrscheinlich eingebrochen – auch in die Südmauer des Querhauses wurde mittig ein **Südportal** gebrochen (ursprünglich wesentlich schmäler als das jetzige, um 1900 erweiterte), das nun vermutlich dem Einzug des Nonnenkonventes von einem ersten Konventshaus wohl an der Stelle des späteren Ostflügels diente – übrigens der einzige Eingang, bei dem man nicht „vom Regen in die Traufe“ kam.

Aus den Seitenwänden des Baldachinraumes zwischen Turmhalle und Langhaus betrat man (heute nur noch nordwärts; ehemals südseitig für Männer, nordseitig für Frauen?) durch **Schlupftüren** spiegelbildlich aufwärts führende **Mauertreppen**, die jeweils in den äußeren Ecken einen kurzen Lauf durch die Turmmauer in die Obergeschoßhalle erreichten. Von diesen Treppen aus müssen auch die Dachräume der Seitenschiffe zugänglich gewesen sein – heute ist dort kirchenseitig die Mauer ganz entfernt. Diese beiden Mauertreppen nahmen den Zwischenraum ein zwischen der älteren Westmauer der Kirche und der Ostmauer des Turmes – so war einem Aufreißen des Altbaues infolge einer zu erwartenden **Senkung** bzw. **Kippung** des Turmes vorgebeugt; es brauchten dann nur die Treppenstufen bzw. die dünnen Verbindungsmauern ausgebessert zu werden. Die erhaltene Treppe, über einer Folge kurzer waagerechter Tonnengewölbe aufgemauert, zeigt zwar keine erkennbaren Aufrisse zumindest seit der Restaurierung um 1900, doch wird es auch seinen Grund haben, daß der südwärtige Treppenlauf ebenso wie die südseitige Verbindungsmauer außen vollständig verschwunden sind.

Spiegelbildlich weiterführende **Mauertreppen**, nun in jeweils umklickenden kurzen Läufen zwei quadratische Mauertürme ausfüllen, führten innerhalb der Mittelschiffsfluchten von der oberen Halle zu einem nicht mehr vollendeten dritten Turmgeschoß bzw. in das Dach. Sie schlossen sichtbar bündig an den Obergaden an. Der Befund des Abbruches der offenbar schon fertigen Kirchenwestmauer auf Obergadenhöhe unterhalb dieser aufgesetzten Türme macht die Zweiphasigkeit der Kirche aus Jaromars Zeit deutlich.

Aus der Obergeschoßhalle führte eine ursprüngliche repräsentative **Tür** auf gleicher Höhe südwärts – offenbar in einen geplanten, aber vielleicht nicht mehr ausgeführten Wohnbau an Stelle des späteren Westflügels. Mit dem Mittelschiff über dem **Baldachin** war diese Halle durch einen zweiten, tonnengewölbten, wiederum nicht verschließbaren Baldachin verbunden, der offenbar als Thron des Fürsten zur Teilnahme am Gottesdienst diente (Einlassungen einer Thronbank erhalten).

Beide Geschosse waren in den Seitenjochen westwärts durch konische **Fenster** belichtet, das Obergeschoß auch nordwärts, und durch eine größere Fenstergruppe in der Hauptachse über dem Westportal. Vom Kirchenraum aus gesehen, wurde der Fürst im Lichtschein dieser Beleuchtung wie in einer Glorie wahrgenommen.

Beide Hallen waren wie die Baldachine durch halbsäulenförmige Vorlagen und Gurtbögen sowie Eckvorlagen auf eine **Kreuzwölbung** in je drei Jochen vorbereitet. Die untere ist als romanische Rippenwölbung auch ausgeführt; zur Ausführung der oberen ist es nicht mehr gekommen.

Der Turm erreichte nicht die geplante Höhe – weder ist das Obergeschoß noch eingewölbt worden, noch das darüber begonnene dritte Geschloß vollendet. Allerdings war es ein Ende auf Raten, denn der Turm wurde noch mit einem Kreuzbogenfries umzogen; auch muß er ein sattelförmiges **Dach** erhalten haben. Davon zeugt noch der erhaltene **Giebel** nach Süden.

Diese Dachform bedingte, daß der Sockel der Westfront von **Traufwasser** durchtränkt wurde, sobald Westwind aufkam – der hier oben auf dem Berg eher noch stärker weht als auf Rügen ohnehin.

Oder führte man schon das Wasser in einer **Rinne** über den Längsmauern des Turmes seitwärts ab, wie dies vor 1896 am Querhaus noch photographisch festgehalten ist? Für diese Hypothese könnte sprechen, daß der Kreuzbogenfries des Süd- (und nach den Konsolresten Nord-)giebels, wenn er auf der Westseite das auch dort noch partiell erhaltene Blendfeld auf gleicher Höhe abschloß – und dieser Friestyp ist charakteristisch für Traufzonen, nicht für Giebelsockel! -, höher reichte als die jetzige Traufe. Das ist nur möglich, wenn es dort eine Art Attika gab – und die bedingte allerdings eine auflagernde oder hintergelegte Rinne. Eine solche Annahme erübrigt die Vorstellung, daß gerade die ranghohen Nutzer des Westportals „vom Regen durch die Traufe“ hätten gehen müssen, bzw. einer Gerichtsverhandlung unter der Traufe. Architekturkritisch ist zu ergänzen, daß die recht wahrscheinliche Ergänzung von Staffeln im Umriß der Giebel (dargestellt auf der Stadtansicht von 1615) sich dann auf der Traufseite in Form von Zinnen fortsetzen würde – eine vor allem in Westeuropa tatsächlich noch häufiger nachweisbare Gestaltung. Innenliegende Rinnen allerdings waren schadensanfällig – und eine (längerfristige) Leckage könnte gerade die umfangreichen Schäden des romanischen Mauerwerks im Turminnen gegen die Nordwestecke hin erklären.

Daß auch auf der Ostseite dieser Aufwand getrieben worden wäre, ist weit weniger wahrscheinlich. Die Winkel unter der Kehle zum Langhaus erlitten nun wohl ebenso starke **Durchnässung** wie die Winkel am Querhaus.

Jaromar ist **spätestens 1218** verstorben. Seine Nachfolger wandten ihr Interesse dem Festland zu.

Erste steinerne Klosterbauten, um 1300

Am Südgiebel des Querhauses sind zwei Dachumrisse des **Ostflügels** der Klausur noch gut zu erkennen. Der untere, symmetrisch gerade die (damals wohl vermauerten) ursprünglichen Fenster überdeckend, entspricht wohl dem älteren, in den Jahrzehnten um 1300 errichteten. Spuren eines dreischiffigen Gewölbes im Erdgeschoß, die eine Bestandszeichnung vor 1900 noch wiedergibt, sind nach dem Mauerwerksaustausch um 1900 kaum noch abzulesen. Dadurch hatte die mittlere Tür ihren Bogenabschluß verloren.

Auf niedriger Obergeschoßhöhe haben sich (vermauert) eine damals durchgebrochene **Tür** in der westlichen und ein **Fenster** in der östlichen Hälfte der Giebelfläche deutlich erhalten. Die Tür befindet sich genau an der Stelle, wo sich in vielen Zisterzienserkirchen der Durchgang vom Dormitorium zur Treppe in den Chor (bei Mönchskirchen) bzw. auf eine Empore (bei Nonnenkirchen) erhalten hat. Das Fenster war in der inneren Wandfläche des Querhauses in eine bis über das (vermauerte) ursprüngliche Fenster reichende rundbogige Nische eingelegt – mutmaßlich diente es der akustischen Verbindung zwischen einem in der Ecke des Dormitoriums ausgesparten Infirmarium (Krankenstube) und dem Kirchenraum. Schon das Einstemmen dieses hohen Schlitzes in die Mauerstärke hat hier vermutlich zu noch tieferreichender Vorschädigung geführt – so ist es kein Wunder, daß nach der Einwölbung ein Vertikalriß genau durch diese Zone auftrat.

Unterhalb des Ostflügeldaches war die Kirchenmauer jetzt trockene Binnenmauer geworden.

Diese Verbindungsöffnungen standen wohl in Zusammenhang mit der **Empore** im Südquerhaus, die noch in einem Bestandsplan des 18. Jahrhunderts erscheint – im Kirchenraum selbst ist sie nach der tiefgreifenden Restaurierung um 1900 völlig verschwunden; nur noch aus der Kartierung des erhaltenen ursprünglichen Putzbestandes tritt sie uns – im Vergleich mit dem Nordquerhaus! - als Negativ wieder entgegen. Der Ausgang zu dieser Empore bestand jedenfalls im 18. Jahrhundert im östlichsten Joch des südlichen Seitenschiffes, im Zusammenhang mit einer damals angelegten bzw. (wahrscheinlicher) erneuerten Tür vom Kreuzgang her. Das Dach über diesem Seitenschiffsjoch wurde jetzt entsprechend erhöht (Abdruck an der Querhaus-Westmauer unter dem heutigen Dach erkennbar).

Schwach erkennbar sind noch Gewölbeanschlüsse eines **Kreuzgang**-Nordflügels entlang des Langhauses, die sich allerdings kaum näher datieren lassen. Der Mauerwinkel zwischen Ost- und Nordgang wurde auch archäologisch erfaßt. Die Tür dürfte vermauert worden sein, da eine Verbindung zwischen Klausur und Laienraum an dieser Stelle kanonisch kaum denkbar war. Dasselbe gilt wohl auch schon für die um 1900 als Nischen wieder geöffneten ursprünglichen Langhausfenster, denn das über dem Kreuzgang erforderliche Dach dürfte annähernd auf Traufhöhe angeschlagen sein, so daß das Wasser der gesamten Dachfläche in den Kreuzhof entwässerte, wo es vielleicht zum Speisen des kanonisch erwünschten Brunnens diente. Die Langhausmauer und die unteren Partien von angrenzendem Querhaus und Turm waren damit vorerst zu Binnenmauern geworden und dürften aufgetrocknet sein. Vielleicht schon bei Gelegenheit dieser Maßnahme wurde das über diesem Dach austretende Westfenster des südlichen Querhauses mit der bis heute erhaltenen Rautenverglasung versehen.

Ein wiederum zweigeschossiger **Westflügel** schließlich schloß schon in Verlängerung des Riegelturmes, auf der Westseite etwas vortretend, an die Kirche an; davon ist ein kurzer Stummel der Hoffassade erhalten. Auch hier konnte das Kirchenmauerwerk unter dem Dachumriß aufrocknen.

Ebenso wie an dem umfangreichsten erhaltenen Baubestand der Klausurräume – einem Abschnitt von Küche und Refektorium im ehemaligen **Südflügel** – verweist das Baumaterial dieses Westflügelfragmentes auf eine Entstehung **um 1300** oder **im 14. Jahrhundert**.

Brand und Umbau zur Pfarrkirche, um 1360-70

Bereits der romanische Bau erlitt einen **Brand**, nachzuweisen anhand der verkohlten Stirnen von Schalbohlen, die noch im Mauerwerk über den oberen Treppenläufen stecken. Unklar bleibt, inwieweit dieser Brand auch die Ursache von **Mauerwerksschäden** in der West- und Nordwand des nördlichen Joches in der oberen Turmhalle war. Dort ist (zur Westseite) die raumseitige Mauerschale großflächig abgeplatzt (abgeschlagen?), oder doch zumindest oberflächlich geschädigt.

Daß auch das Langhaus Schäden erlitten hatte, wird aus dem Zustand der Mauern oberhalb der Gewölbe deutlich. Der bemalte Putz ist bis auf Restflächen ganz abgefallen – da dies ringsherum geschehen ist, kann es nicht mit den örtlichen Durchfeuchtungen aus späterer Zeit zusammenhängen. Spuren eines bewußten Abarbeitens sind nicht zu erkennen (warum sollte man auch?). Die relativ besterhaltenen Flächen liegen am Nordgiebel und im Südquerhaus. Auf diesen Putzresten ist die Bemalung nur noch schemenhaft zu erkennen. Dieses Gesamtbild erweckt den Eindruck, daß die Kirche im Brand ihr Dach insgesamt verloren hatte und möglicherweise für Jahrzehnte als Ruine stand – man vergleiche den Zustand noch kriegszerstörter Bauten um 1990, etwa St. Nikolai in Anklam. Allerdings läßt die Mauerkrone hier keine derart gravierenden Schäden erkennen.

Auch die **Schalenlockerung** an der Westmauer scheint etwa gleichzeitig ein solches Ausmaß erreicht zu haben, daß von der Außenseite mehr als zwei Drittel der Oberfläche erneuert werden mußten, um die Südwestkante partiell auch auf die Südseite umgreifend. Zu diesem Schaden mag beigetragen haben, daß die Mauerkrone nach dem Brand wohl länger der **Witterung** ausgesetzt war, was durch eindringendes Wasser und Frost das Aufspalten beförderte. Und doch bleibt der Unterschied der Turmwestmauer zu den übrigen Mauern nur aus der Bewitterung heraus unerklärlich – man müßte dann schon annehmen, daß die westseitige Traufe etwa schon lange schadhafte gewesen sei. Für Überlegungen in dieser Richtung spricht, daß vor allem die oberen Partien dieser Fassade erneuert wurden, nirgends bis zum Sockel herab, trotz des Befundes eines bis in das Fundament herabreichenden **Abrisses** an der Südwestecke.

Die Erneuerung der westseitigen Mauerschale geschah jedenfalls, bevor der heutige **Turm** aufgesetzt wurde, der etwa in das mittlere 14. Jahrhundert zu datieren ist. Eine *capella ... in turri ... sub campaniis* wird 1359 genannt, eine „Kapelle im Turm unter den Glocken“. Damit dürfte schon dieser Turmbau gemeint sein. In der oberen Halle des Riegelturmes wurde das südliche (und mittlere? dort heute erneuert) Joch nun rippengewölbt; vermutlich nutzte man

dorthin den Zugang vom Obergeschoß des Westflügels. Das Nordjoch blieb – bis heute – im Ruinenzustand stehen.

Mit dem stattlichen Gewicht des Turmaufbaues wurde der ältere Riegelturm zusätzlich belastet. Insbesondere drücken die beiden nicht verankerten Schwibbögen die Turmmauern auseinander, was vermutlich die Hauptursache für **Aufrisse** in der Nord- und Südmauer wurde – auf der Nordseite schon im 18. Jahrhundert durch Einlegen von Ankern und Ausmauern mit großen Feldsteinen geradezu magisch „geheilt“, auf der Südseite um 1900 mit gewaltigen, in Schlitze des Mauerwerks geschobenen Stahlankern verklammert. Vermutlich sorgt auch das Turmmauerwerk oberhalb der Schwibbögen gegenwärtig für eine gewisse Verklammerung; das Turmassiv ist im Ganzen westwärts gekippt bzw. geringfügig auch gerutscht. So ist es zu erklären, daß noch nach der Erneuerung des Langhauses der Turm von diesem abgerissen ist, und sich sogar ein geringer Abriß zwischen Langhaus und Querhaus ergeben hat.

In der Umbauphase des mittleren 14. Jahrhunderts wurden die Pfeiler des Langhauses mit dem Obergaden niedergelegt – mit Ausnahme des östlichsten Pfeilers der Südarkade, der vermutlich schon – wie noch auf einem Plan des 18. Jahrhunderts zu erkennen – in einen Aufgang zu einer Nonnenempore im südlichen Querhaus einbezogen war. Dieses Detail macht deutlich, daß zwar die Brandschäden den Anlaß zu dem Neubau gegeben haben mögen, keinesfalls aber das Langhaus so weitgehend zerstört war, wie es dann abgetragen wurde. Der Wiederaufbau erfolgte im Querschnitt einer Hallenkirche. Dafür waren zwar stärkere **Pfeiler** nicht erforderlich als die romanischen, ausgeführt auch vermutlich durchweg auf den alten Fundamenten, die schon den romanischen Obergaden getragen hatten und daher ausreichend vorbelastet waren. Zu Senkungen ist es dann auch nicht erkennbar gekommen. Die Erneuerung der Pfeiler hat vielmehr wohl nur Gestaltungsgründe – der gewählte Achteckpfeiler war seit der Zeit um 1300 zu einer der beliebtesten Pfeilerformen gerade in den nordostdeutschen Hallenkirchen geworden.

Die **Seitenschiffsmauer** blieb zumindest auf der Südseite erhalten (auf der Nordseite infolge späterer Kapellendurchbrüche nicht mehr erkennbar) und wurde auf annähernd doppelte Höhe erhöht – ohne daß diese Verdoppelung des Gewichtes die romanischen Fundamente erkennbar überlastet hätte, was wiederum für den ausgezeichneten Baugrund spricht.

Der gesamte Innenraum wurde mit Kreuzrippengewölben überzogen. Trotz des sehr hohen Kraftangriffes der neuen **Gewölbe**, die nicht erkennbar verankert wurden, verzichtete man völlig auf Strebepfeiler. Das ist auf der Südseite nur zu erklären, weil zu dieser Zeit schon ein Kreuzgang angebaut und vielleicht auch schon gewölbt war, in den der **Gewölbeschub** abgetragen wurde. Als das Kloster nach 1667 abgebrochen wurde, hat man offenbar die Gefahr nicht sofort erkannt – erst 1722 wurden dann eilig die heutigen Strebepfeiler angefügt; in der östlichsten Achse war dies nicht möglich (nicht nötig?), weil hier nun bereits die Vorhalle angebaut war, über deren Seitenmauer man noch das ausgemauerte Loch einer Strebe erkennt, mit der zeitweilig der Gewölbeschub abgefangen wurde. Seit dem Abbruch der Vorhalle wohl 1896 allerdings ist in dieser Achse keinerlei äußere Abstrebung mehr erhalten – hier besteht zumindest mittelfristig ein Sicherungsbedarf.

Auf der Nordseite haben die abschnittsweise angefügten Kapellen des Spätmittelalters die Aufgabe der fehlenden Strebepfeiler längst und offenbar ausreichend übernommen.

Auch der Chor wurde in dieser Umbauphase verändert. Man trug die **Hauptapsis** bis zur Sohlbankhöhe der heutigen drei großen Fenster ab und führte sie als schiffshohes Polygon mit außenseitig angefügten Strebepfeilern wieder auf. Die seitlichen Chorfenster wurden unter Beibehaltung eines Bogensegmentes jeweils zur Ostseite auf die doppelte Breite vergrößert.

Auch die Ostteile wurden im gleichen Zuge wie das Langhaus eingewölbt; nur ein Wechsel des Rippenprofils zu dem reicheren, in Greifswald nach 1348 belegten, könnte auf einen Zeitunterschied deuten. Eine Verankerung der Mauern, die darauf nicht berechnet waren, gegen den Gewölbeschub ist auch hier nicht erfolgt. Das hat an mehreren Stellen zu Aufrissen geführt, auch wenn die Gesamtklaffung an keiner Stelle Anlaß zur Besorgnis gibt. Am deutlichsten ist der Riß im Südgiebel des Querhauses, wo er sich den Weg in der Achse

der innenseitig eingeschlagenen hohen Nische und des durchgebrochenen Fensters gesucht hat.

Nach allen diesen Maßnahmen konnte die Ausmalung der Ostteile, die auch unterhalb der Gewölbe wahrscheinlich schon sehr unter der Witterung gelitten hatte, nicht mehr sichtbar stehen bleiben. Es ist anzunehmen – aber heute nicht mehr zu erkennen, weil in der Restaurierung um 1900 komplett wieder entfernt? –, daß die **Fehlstellen** im Putz, und das dürften nach dem Befund oberhalb der Gewölbe schon erhebliche Flächen gewesen sein, in einem neuen Putz geschlossen und dann alle Flächen überkalkt wurden.

Im heutigen **Dachwerk** sind Hölzer des nach diesem großen Umbau aufgesetzten Daches erhalten, dendrochronologisch datiert **1369**. Diese Datierung beweist, daß der Kircheninnenraum von keinem der späteren Brände mehr erreicht wurde, die der Überlieferung zufolge in der Klausur wüteten. Die jetzige Dachkonstruktion, in der diese Hölzer wiederverwendet wurden, ist in der Restaurierung um 1900 entstanden. Ältere Photographien zeigen zwei separate Satteldächer hinter den Giebeln über den beiden Querhausflügeln und ein durchlaufendes Dach über dem Mittelschiff, das hinter den Fachwerk- Innengiebeln der Querhausdächer **Rinnen** besessen haben muß. Ostwärts reichten die Rinnen geradeaus weiter bis auf die damals noch bis über die Traufhöhe (!) reichenden ursprünglichen Vorlagen an der Ostecke des Chores - zumindest im photographisch dokumentierten Zustand vor 1896. Die Gesamtlänge der Rinne von 16m kann nicht aus einem Stamm hergestellt gewesen sein – es muß daher einen Stoß gegeben haben, der zu Zeiten, als man nur mit Teer dichten konnte, natürlich immer wieder leckte. Vermutlich lag dieser Punkt über den östlichen Vierungspfeilern, wo entsprechende wiederholte **Leckagen** zu vermuten sind.

Eine weitere **Rinne** zeigt das Foto vor 1896 auf der Ostmauer des Querhauses. Sie wurde aber vor Erreichen von dessen äußerer Kante in ein Fallrohr abgeleitet, das bei gut 2m über Erdboden endete, was nicht der mittelalterliche Zustand gewesen sein kann – auch hier wäre ein übertretender Rinnbaum als Wasserspeier wahrscheinlicher. Die Ansichtszeichnung von Löffler 1873 macht eine gleichartige Rinne auch auf der Südseite wahrscheinlich. Und solche Rinnen sind dann doch wohl auch auf den beiden Westmauern des Querhauses anzunehmen.

Dieses Foto zeigt am Chorpolygon einen unglaublich knappen Dachüberstand, der erst auf eine barockzeitliche Reduktion zurückgegangen sein dürfte. Entweder bestanden hier ursprünglich wesentlich längere Aufschieblinge, oder es waren über den Strebepfeilerköpfen, deren abgeschrägte Abdeckung nicht ursprünglich gewesen sein muß, weitere Rinnbäume verlegt.

Als die Pfarre des Burg- und Markortes hierher verlegt war, konnte die alte Pfarrkirche auf dem Rugard **1380** abgebrochen werden.

Ein neuer Ostflügel, verbrannt 1445

Oberhalb des ältesten Dachanschlusses zeigt der Südgiebel des Querhauses eine weitere Dachumrißlinie – auf der Ostseite etwa 2m höher, aber mit dem First soweit nach Westen gerückt, daß mit dieser Traufhöhe nun offenbar auch ein **Obergeschoß** des Kreuzganges einbezogen (oder das Obergeschoß über den Kreuzgang ausgeweitet) war – ein Umbau, wie er von mehreren Klöstern **im späteren 14. Jahrhundert** bekannt ist.

Dieser Bau ist offenbar durch ein **Schadensfeuer** zerstört worden, wie die reduzierende Verfärbung des älteren Giebelmauerwerks bis genau unter den Dachumriß erkennen läßt. Es dürfte sich um den überlieferten Brand von **1445** gehandelt haben, der „das Kloster ... und den Kirchenschatz“ vernichtete, also die Klausurräume der Nonnen und die im Erdgeschoß des Ostflügels an die Kirche anschließende Sakristei bzw. das Armarium. Vielleicht ist hier sogar das Feuer ausgebrochen. Von einer Zerstörung der Kirche ist keine Rede – offenbar hat der Giebel als Brandmauer einen Überschlag verhindert.

Die Maueroberfläche des Südgiebels war durch den Brand nicht zerstört, aber durch die Hitze verändert – es dürfte zumindest in den stark verdunkelten Bereichen zu beginnender

Verglasung gekommen sein, also einem Zusammenschmelzen kleinerer zu größeren Poren und damit einer Reduktion des kapillaren Saugvermögens – was die Wasseraufnahme von außen, aber mindestens ebenso auch die Wasserabgabe an die Luft beeinträchtigte. Die seither dunklere Mauerwerksfarbe erhöht andererseits die Wärmeaufnahme bei Tage wie die Abkühlung bei Nacht.

Es kann nur vermutet werden, daß der bereits **1447** als vollendet überlieferte **Wiederaufbau** nach diesem Brand zum **Abbruch** des gesamten romanischen **Sockelmauerwerks** entlang des Langhauses geführt hatte, an dessen Stelle – unter Verzicht auf den Vorsprung – jetzt in der typischen Mauertechnik des mittleren 15. Jahrhunderts oberflächlich geglättete, aber im Umriß ganz „wild“ belassene Feldsteine eingefügt und bündig mit Backstein übermauert wurden, bis das oberhalb des ursprünglichen Sockels stehengebliebene Backsteinmauerwerk unterfangen war. Anlaß und Absicht dieser Maßnahme bleiben unklar – daß der alte Sockel gerade hier so beschädigt gewesen sein sollte, ist unwahrscheinlich. Vielleicht spielte auch Aberglaube bei den für diese Zeit so typischen Sockeln mit wilden „Felsen“ mit hinein - eine ostentative Zurschaustellung des „besiegten“ Urmaterials, doch zugleich auch ein Mißtrauen gegen den in der Bibel so schlecht beleumundeten Backstein. Ob man geglaubt hat, statischen Problemen in der Mauer, die sich wohl schon südwärts neigte, durch Einfügen „echter“ Steine begegnen zu können, so wie die vielen sichtbar vortretenden „Felsen“ bei Neubauten dieser Zeit eine Festigkeit darstellen sollten, an der man im Stillen offenbar zweifelte? Faktisch war sicher das Gegenteil der Fall: durch die Reduzierung der Mauerstärke um 0,2m und die Unmöglichkeit, die Unterfangung wirklich kraftschlüssig herzustellen, wurde hier das Überneigen der Mauer nach Süden sehr gefördert.

Ein weiterer Brand wird für 1472 berichtet, jedoch aus dem „Reventer“, also vermutlich dem Süd- (und West-)flügel. Auswirkungen auf die Kirche sind nicht erkennbar.

Verfall und Abbruch des Klosters 1523-1667

Spätestens seit Ausbruch der Reformationsunruhen **1523** ist kaum mehr damit zu rechnen, daß bauliche Maßnahmen am Kloster durchgeführt wurden. Auch an der Kirche, die immerhin Pfarrkirche des Markortes, seit 1613 der Stadt Bergen und seit 1611 auch Hofkirche des herzoglichen Schlosses war, sind keine Bauarbeiten erkennbar. Nicht einmal die erforderliche Instandhaltung dürfte noch erfolgt sein, nachdem den Nonnen 1535 ihre Einkünfte geraubt, und sie 1573 ganz enteignet worden waren. Zu weiteren Unglücken – dem Stadtbrand 1621, der Pest von 1626-30 - gesellte sich schließlich die Verödung des Landes im Dreißigjährigen Kriege seit dem Einzug der Kaiserlichen. 1666 empfahl man, zur Reparatur des Schlosses „Mauer- und Dachsteine“ von den Klostergebäuden abzubrechen.

Ausbau des Inneren, Sicherung 1722

Tatsächlich zeigt der älteste Bestandsplan im Jahre 1730 eine Lücke („ein Plätzgen“) zwischen Ostflügel und Kirche. Nur noch die ehemalige Westmauer stieß als Umgrenzung des Kreuzhofes an die Südwestecke des Querhauses. Damit war diese Giebelmauer nach mehr als 400 Jahren wieder ganz der **Witterung** ausgesetzt.

Zwar zeigt der Plan von 1730 noch die Kreuzgewölbe und Pfeiler des einstigen Kreuzganges, zugleich aber auch die 1722 an die Langhausmauer gesetzten schweren **Strebepfeiler**. Vielleicht schon bald nach dem Abbruch des Kreuzganges hatte man die Mauerkrone mit starken eisernen **Ankern** an der Dachbalkenebene fixiert – allerdings zu hoch, um ein **Ausbeulen** der Mauer auf Gewölbekämpferhöhe zu verhindern. Dann hatte man die immer gefährlicher sich überneigende Mauer offenbar mit starken hölzernen **Streben** abgefangen – wovon heute noch das jetzt ausgemauerte Loch in der östlichsten Gurtachse zeugt. Daß man hier keinen Pfeiler ausführte, mag mit der unbekannteren Konstruktion des Aufganges zur Nonnenempore im Querhaus zu tun haben, die vielleicht ausstrebend bzw. verankernd wirkte. Die 1730 noch nicht dargestellte **Vorhalle** vor dem Eingang vom Kreuzhof her, deren Seitenmauer zwar nicht genau in der Gurtachse verlief, aber doch zusätzlich abstrebend gewirkt haben dürfte, ist auf einem undatierten Plan der Kirche aus dem späteren 18.

Jahrhundert schon eingezeichnet. Im übrigen war jetzt die gesamte Südseite der Kirche wieder voll bewittert.

Abgebrochen worden waren auch beide **Nebenapsiden**, ohne daß die Ursache deutlich wird; damit waren natürlich neue Schäden im angrenzenden Mauerwerk entstanden. Auf der Nordseite wurde an ihrer Stelle das Klosterarchiv – die heutige Sakristei - errichtet. Beide Apsidenöffnungen waren bündig ausgemauert worden, darin in unterschiedlicher Breite **Fenster** ausgespart.

Dagegen gibt der Grundriß das Chorscheitelfenster als vermauert an – diese **Ausmauerung** bis zum Scheitel gibt auch noch eine Photographie vor 1900 wieder. Die übrigen Fenster zur Ostseite waren nur in 1–2m Höhe vermauert. Die Verglasung der Chorfenster in kleinen Rechteckscheiben dürfte aus dem 18. Jahrhundert, die des Querhausfensters in Rauten spätestens aus dem 17. Jahrhundert gestammt haben. Nach Süden war am Langhaus eine Reihe von Fenstern teils neu durchgebrochen, teils nur mit hölzernen Fenstern versehen, wie es eine Südansicht der Kirche vor 1900 wiedergibt.

Im Kircheninneren verzeichnet der nach 1730 entstandene Grundriß eine Vielzahl von Gestühlen und **Emporen**, diese entlang der Außenwände des südlichen Seitenschiffes, im Südquerhaus und am westlichen Ende des nördlichen Seitenschiffes. Alle diese Einbauten waren mit Balkenlöchern im Außenmauerwerk verankert; jeder hatte mit weiteren Befestigungen, ggfs. auch Putzerneuerung und – bei Einhausung durch die mitgebrachten „Stövchen“ – eigenem Mikroklima den Bestand der alten Maueroberflächen weiter beeinträchtigt. Es läßt sich vorstellen, wie durchlöchert sich das romanische Mauerwerk nach dem Abbruch aller dieser Einbauten bei Beginn der Restaurierung gegen 1900 darstellte – zumal hier nur die untere Wandhälfte noch zum romanischen Kernbau gehört.

Restaurierung gegen 1900

Der Zustand vor Beginn der umfassenden Restaurierung ab 1896 ist durch wenige Photographien, durch das Aufmaß des Grundrisses von Löffler 1873 und ein Aufmaß der Südseite durch von Haselberg dokumentiert, der die Restaurierung dann leitete. Es ergibt sich ein zwar altertümliches, von zahlreichen Eingriffen überformtes, aber nicht erkennbar geschädigtes Bild des Gebäudes. Die Maßnahme, die bereits unter Zeitgenossen umstritten war, galt demnach weniger einer technischen Instandsetzung als einer stilistischen Purifizierung des Baues – die war allerdings schon über Jahrzehnte von Koryphäen der Denkmalpflege in Gutachten angemahnt worden.

Zunächst wurden sämtliche barockzeitlichen Einbauten entfernt, vermauerte Fenster geöffnet, später durchgebrochene vermauert. Das gesamte Dach wurde abgeschlagen und als geschlossenes Satteldach in Kreuzform wiedererrichtet. Das Rißbild im Südgiebel des Riegelturmes wurde durch gewaltige Eisenanker in ganzer Giebelbreite verklammert, die außen und innen in eingehauene Schlitze gesenkt wurden. Abbruchspuren, Dachanschlüsse, verwitterte Partien, Pfeilerabdeckungen wurden bis in den Mauerkerne zurückgehauen und durch bündige Einmauerung geschlossen, in einem fast klinkerhart gefeuerten, glatten Stein, versetzt in hydraulischem Mörtel. Schließlich wurde das gesamte Fugennetz etwas zurückgeschlagen und der Bau in einem schwärzlichen, nicht wetterbeständigen Mörtel neuverfugt.

Im Inneren muß zeitweilig das mittelalterliche Mauerwerk bis auf die erhaltenen romanischen Putze großflächig freigelegt gestanden haben, denn es sind so gut wie keine jüngeren Putze erhalten. Dann wurde die gesamte Innenoberfläche wieder in einem etwas hydraulischen Mörtel verputzt, an die erhaltenen Inseln romanischen Putzes angeglättet. Bereits zuvor hatte man mit der farbigen Auffrischung der erhaltenen Malerei begonnen, die nun über die ergänzten Putzflächen ausgeweitet wurde. In Langhaus und der Erdgeschoßhalle im Westbau wurden Farbgestaltungen gotisierend bzw. romanisierend frei erfunden; nur ein gotisches Malereifragment im Mittelschiffsgewölbe blieb erhalten.

Vorläufiges Ende

Jens Christian Holst

Probenliste		
Proben	Bezeichnung der Probestelle bzw. Behandlung der beprobten Oberfläche	Bemerkung
Nr.*	Vorfestigung mit Gipsbehandlung mit	Referenzproben Raumluft
B 000		
B 010		
B 010 R	Ammoniumcarbonat	Medien 1 bis 3 jeweils separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 020		Referenzproben zu B 010, nur mechanisch gereinigt (lose aufliegende Verschmutzungen und Salze abgekehrt); Medien 1 bis 3 separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 030		
B 030 R	Ionenaustauscherharz cabonatbeladen "Endemann fein"	Medien 1 bis 3 jeweils separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt; Probe 030-1 leicht verunfallt
B 040		
B 040 R	Ionenaustauscherharz OH ⁻ - beladen "italienisch"	Medien 1 bis 3 jeweils separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 050		
B 050 R	Ionenaustauscherharz cabonatbeladen "Dr. Wendler"	Medien 1 bis 3 jeweils separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 060		Referenzproben zu B 030 bis 050, nur mechanisch gereinigt (lose aufliegende Verschmutzungen und Salze abgekehrt); Medien 1 bis 3 separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 070	Thylose MH 300/ Ludox X30	Ausgangssprobe auf verdunkeltem Bereich, Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 070 R	Ludox X30	Wiederholung auf verschleiertem Bereich, Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 080	Thylose MH 300/ Ludox X30	Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 080 R	Ludox X30	Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 090	Thylose MH 300/ Ludox X30	Medien 1 bis 3 jeweils separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 090 R	Ludox X30	
B 100	Kasein	Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 100 R	Kasein	Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 110		
B 110 R	Kasein	Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 110 R	Ionenaustauscherharz cabonatbeladen "Endemann fein"	Medien 1 bis 3 nacheinander auf der selben Probestelle abgedrückt
B 120		Referenzproben zu B 010 bis 110 R, unbehandelt; Medien 1 bis 3 jeweils separat auf benachbarten Probestellen abgedrückt
B 120 R		

* Probennummern mit dem Zusatz "R" sind die Wiederholungsproben zu den jeweiligen Proben mit gleicher Nummer ohne Zusatz "R"

Amtliche Materialprüfungsanstalt
der Freien Hansestadt Bremen*
ein Geschäftsbereich der
Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen



Paul-Feller-Str. 1
28199 Bremen
☎ 0421 / 53708 0
📠 0421 / 53708 10
www.mpa-bremen.de
Bearbeiter: Rudolph
☎ 0421 / 53708 73
rudolph@mpa-bremen.de

Auftraggeber: Herr Andreas Weiß
Teschwitz 3
18569 Gingst

Prüfgegenstand: RODAC-Abklatschproben

Berichtsdatum: 16.09.2009
Anzahl der Seiten: 5
Anlagen: keine
Auftrag vom: 24.07.2009
Probeneingang: 12.08.2009
Prüfbeginn: 12.08.2009

Objekt: St. Marien Bergen

Inhalt des Auftrags: Nachweis von Bakterien und Schimmelpilzen

Probennahme: Durch den Auftraggeber am 10.08.2009

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände, Rückschlüsse daraus auf die Eigenschaften einer Grundgesamtheit sind nicht zulässig. Eine auszugsweise Veröffentlichung und Weitergabe von Prüfberichten bedarf in jedem Einzelfalle der widerruflichen schriftlichen Einwilligung der Amtlichen Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen.

*errichtet am 1. Januar 1987 per Erlass über die Errichtung einer Amtlichen Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen bei der Stiftung Institut für Werkstofftechnik, veröffentlicht im Amtsblatt der Freien Hansestadt Bremen 1986, Nr. 79, S. 603

1 Aufgabenstellung

Am 24.07.2009 erhielt die Abteilung Mikrobiologie an der Amtlichen Materialprüfungsanstalt Bremen von Herrn A. Weiß den Auftrag, verschiedene RODAC-Platten auf die damit angereicherten Mikroorganismen hin zu untersuchen. Herr Weiß hatte die Proben am Objekt St. Marien Bergen am 10.08.2009 entnommen. Die Proben gingen uns auf dem Postweg am 12.08.2009 zu.

2 Untersuchungen

Die RODAC-Abklatschproben wurden im Brutschrank bei 25 °C inkubiert. Bei den RODAC-Abklatschplatten handelte es sich um folgende Nährmedien:

BR- Agar (Bunt & Rovira) zum Nachweis von Bakterien

DG 18-Agar (Dichloran-Glycerin 18%) zum Nachweis von Schimmelpilzen

CzD-Agar (Czapek-Dox-Agar) zum Nachweis von Schimmelpilzen

Die Zählung der Bakterien und Pilze auf den Nährböden erfolgte nach einwöchiger Inkubation. Die Identifizierung der Schimmelpilze erfolgte lichtmikroskopisch.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse unserer Zählungen der Bakterien und Schimmelpilze, sowie die Bestimmungen der Schimmelpilze sind in der Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt und führen zu folgender Bewertung:

Bis auf wenige Ausnahmen weisen die Abklatschproben von den verschiedenen Beprobungsstellen einen vergleichbaren Bewuchs an Bakterien und Schimmelpilzen auf. Auffällig erscheinen die Proben:

B010/B010R (Gipsbehandlung mit Ammoniumcarbonat)

B050/B050R (Gipsbehandlung mit Ionenaustauscherharz carbonatbeladen „Dr. Wendler“)

B070/B070R. (Gipsbehandlung mit Ionenaustauscherharz carbonatbeladen „Dr. Wendler“)

Diese weisen im Vergleich zu den anderen Proben/Behandlungen ein erhöhtes Bakterienwachstum auf. Ein signifikanter Schimmelpilzbefall konnte auf keiner Probe festgestellt werden. Die nachgewiesenen Schimmelpilzspezies auf den Materialproben und

der Referenzprobe (Sedimentationsplatte) entsprechen sich. Sie gehört zu den Pilzarten, welche nach den **Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA 460)**, sowie der Biostoffverordnung der Risikogruppe 1 zugeordnet werden. In diese Risikogruppe fallen Mikroorganismen, bei denen bisher keine Gefährdung des gesunden Menschen beobachtet wurde.

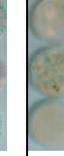
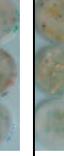
Tabelle 1: Bestimmung der mikrobiellen Keimzahlen, Identifizierung der Pilzspezies:

Probe	RODAC Abklatsch	Bakterien BR-Agar*	Pilze CzD-Agar*	Pilze DG18-Agar*	Nachgewiesene Pilzspezies:
B 000 BW**		13	3	12	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i>
B 010		880	5	9	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Mucor plumbeus</i> , <i>Penicillium aurantiogriseum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i>
B 010R		1200	11	11	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i>
B 020		30	10	6	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i>
B 030		12	33	36	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>Penicillium expansum</i>
B 030R		360	6	18	<i>Aspergillus restrictus</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Penicillium expansum</i>
B 040		18	37	52	<i>Acremonium strictum</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Ulocladium chartarum</i>
B 040R		89	22	13	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i>
B 050		950	19	62	<i>Acremonium strictum</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Ulocladium chartarum</i>
B 050R		850	32	65	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Eurotium herbariorum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>Ulocladium chartarum</i>
B 060		120	38	23	<i>Acremonium strictum</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>Ulocladium chartarum</i>
B 070		500	3	12	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>Ulocladium chartarum</i>
B 070R		850	4	4	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i>

*: Kolonienbildende Einheiten auf der RODAC-Platte

**: BW, Blindwert, Referenzprobe

Tabelle 1: Bestimmung der mikrobiellen Keimzahlen, Identifizierung der Pilzspezies:

Probe	RODAC Abklatsch	Bakterien BR-Agar*	Pilze CzD-Agar*	Pilze DG18-Agar*	Nachgewiesene Pilzspezies:
B 080		200	26	11	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
B 080R		180	11	9	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
B 090		15	9	16	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Ulocladium chartarum</i>
B 090R		300	10	9	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i>
B 100		180	2	2	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i>
B 100R		180	5	9	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
B 110		380	7	48	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>
B 110R		480	0	69	<i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i>
B 120		150	27	9	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Penicillium glabrum</i>
B 120R		380	38	36	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> , <i>Penicillium brevicompactum</i>

*: Kolonienbildende Einheiten auf der RODAC-Platte



Amtliche Materialprüfungsanstalt (MPA Bremen)

Abteilung Analytische Baustoffmikroskopie

Paul-Feller-Straße 1, D-28199 Bremen

Dr. rer. nat. Frank Schlütter

Diplom - Kristallograph



0421 / 53 70 8-43



0421 / 53 70 8-10

e-mail

schluetter@mpa-bremen.de

internet

http://www.mpa-bremen.de

Bremen, 16.10.2003

Vorläufige Zusammenfassung der materialkundlichen Untersuchungen an den Wandmalereien der St. Marien Kirche Bergen / Rügen

Feuchte- und Salzgehalte im Mauerwerk und Putz/Wandmalerei

Proben-Bezeichnung	Beschreibung	Bemerkungen	Fragestellung
P 1	Südliche Chorwand, xx m Höhe	Oberer Horizont der Wandmalereischäden	Höhen- und Tiefenverteilung von Feuchte- und Salzgehalten in den Wandmalereien/Putzen und im Mauerwerk
P 2	Südliche Chorwand, xx m Höhe	Mittlerer Horizont der Wandmalereischäden	
P 3	Südliche Chorwand, xx m Höhe	Unterer Horizont der Wandmalereischäden	

In den Profilen 1 und 2 ist der Feuchtegehalt durchweg $\approx 2 \text{ M-}\%$. Die höchsten Werte ($1-2 \text{ M-}\%$) treten im Putz auf. Lediglich im Putz des Profils 3 treten etwas höhere Werte auf ($3-4 \text{ M-}\%$).

An bauschädlichen Salzen sind Gips und Nitrat enthalten. Die Gipsgehalte in den Profilen 1 und 2 sind scheinbar gering ($0,4 \text{ M-}\%$). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es sich um integrale Analysen über Putz und Malschicht handelt. Die mikroskopischen Untersuchungen belegen, dass in bzw. auf der Malschicht durchaus sehr hohe Gipsgehalte vorliegen können (s.u.).

Eine hohe Gipsbelastung ist (schon bei integraler Messung) im Putz des Profils 3 festzustellen ($5-6 \text{ M-}\%$).

Neben Gips sind stets **Nitrate** vorhanden. Sie sind in den Putzen und Malschichten konzentriert. Ihr Gehalt ist in allen Proben etwa gleich hoch ($0,3$ bis $0,5 \text{ M-}\%$). Es handelt sich um α -Nitrat.

Die Nitratbelastung ist als mittelmäßig einzustufen. Ihr Schädigungspotential ist gegenüber dem Gips wahrscheinlich gering. Die Nitrate werden aufgrund ihrer Hygroskopizität eine permanente Feuchte in der Malschicht verursachen. Sehr wahrscheinlich sind die in Putz und Malschicht ermittelten Feuchtegehalte von $1-2 \text{ M-}\%$ hygroskopische Feuchte. Die Korrelation zwischen Gipsgehalt und Feuchte im Putz des Profils 3 deutet daraufhin, dass möglicherweise auch höhere Gipsgehalte zu einer höheren Feuchte führen können (als Folge von Wasseradsorption).

Salzausblühungen und ihre Folgen

Proben-Bezeichnung	Beschreibung	Bemerkungen	Fragestellung
P 1	Salzausblühung auf Malschicht	Oberer Horizont der Wandmalereischäden (oberhalb 6,5 m)	<ul style="list-style-type: none"> - Identifizierung der Salzausblühungen (REM/EDX) - Lokalisierung der Salzausblühungen (auf oder unter der Malschicht)
Bg 1/1	Weißschleier auf blauer Malschicht		
Bg 1/2	Weißschleier auf gelbockerfarbener Malschicht		
Bg 1/3	Weißschleier auf unbemalter Kittung		
Bg 1/4	Salzkristalle auf braunockerfarbener Malschicht		
Bg 1/5	Salzkristalle auf Ziegel (Fehlstelle des Putzes /Malerei)		
Bg 1/6	Weißschleier auf gelbockerfarbener Malschicht	Mittlerer Horizont der Wandmalereischäden (4 - 5,5 m)	
Bg 1/7	Dunkelgrauer Malschichtsplitter mit kleinen Absprengungen der Malschicht		
Bg 1/8	kleine weiße Pusteln auf dunkelgrauer Malschicht		
Bg 1/9	Weißschleier auf ockerfarbener Malschicht		
Bg 1/10	Weißschleier auf einer Kittung (unbemalter Bereich)		
Bg 1/11	Weißschleier auf gelber Malschicht	Unterer Horizont der Wandmalereischäden (3,5 m)	
Bg 1/12	Weißschleier auf schwarzer Malschicht		

In einem Fall bestand die Ausblühung aus **Na-Sulfat**.

In allen anderen Fällen konnten die Ausblühungen bzw. Weißschleier als **Gips** identifiziert werden. Zwei Gipsformen prägen das mikroskopische Bild. Zum einen stark angelagerte Kristallformen und zum anderen leisten- bis tafelförmige Kristalle mit geringer Anlagerung. Es handelt sich stets um poröse, gering verschmutzte Gipsschichten, die optisch einen Weißschleier hervorrufen.

Bei der Probenentnahme und teilweise zusätzlich bei der Präparation waren rötliche oder weiße Pusteln erkennbar, die eindeutig als Mikrobiologie identifiziert werden konnten. Es handelt sich um **traubenförmige Bakterienkolonien**. Pilze treten nur vereinzelt auf. Eine gleichmäßige Besiedlung der Malschichtoberflächen ist nicht gegeben.

Erscheinungsformen und Ursachen der Schädigung der Wandmalerei

Proben-Bezeichnung	Beschreibung	Bemerkungen	Fragestellung
Bg 1/1	Weißschleier auf blauer Malschicht		- Stratigraphie - Art und Ursache der Schädigung
Bg 1/13	Grün-schwarz verfärbte Malschichtoberfläche		- Ursache der Verfärbung (Mikrobiologie oder Pigmentveränderung)
Bg 1/14	Putz und Retusche des 19. Jhd., Übergang grau versinterte / unveränderte rötliche Malschicht	etwa 2,20 m oberhalb des Zwickelansatzes (Randbereich des Profils P 1)	- Stratigraphie - Art und Ursache der Versinterung
Bg 1/15	Mittelalterliche Malschicht mit starken Abplatzungen und Putzverlusten	unterer Rand des oberen Schadenshorizontes	- Stratigraphie - Art und Ursache der Schädigung
Bg 1/16	Putz und Retusche des 19. Jhd., a) Kraterförmige Ausplatzungen b) Grauschleier	Pfeiler rechts neben der S-Wand des Chores	- Stratigraphie - Art und Ursache der Schadensbilder

Alle untersuchten Proben sind von Gipsschichten bedeckt. Es handelt sich dabei um 10-50 mm dicke Gipsschichten, die auf der eigentlichen Malschicht liegen und die häufig zu beobachtenden Weißschleier hervorrufen.

Zusätzlich sind stets auch die Malschichten vergipst. Im Gegensatz zu den meist porösen Gipskrusten sind die Malschichten durch die Vergipsung stark verdichtet. Es ist also davon auszugehen, dass sich die Malschichten in ihrem thermisch-hygrischen Dehnungsverhalten inzwischen wesentlich vom Putz unterscheiden. Unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen können Scherspannungen auftreten, die zu fortschreitenden Verlusten führen.

Damit ist eine Indikation für eine Gypsumwandlung zwar grundsätzlich gegeben. Es werden sich jedoch beträchtliche Nebenwirkungen einstellen. Eine Umwandlung der Gipskrusten in Anhydrit wird zu einer erheblichen optischen Verstärkung der Weißschleier führen.

Zur Maltechnik Es wurde stets direkt auf den Putz gemalt. Es sind keine Grundierungen/Tünchen unter den Malschichten vorhanden.

An der Probe 1/11 konnte eine silikatische Bindung oder nachträgliche Fixierung der Oberfläche mit Wasserglas nachgewiesen werden.

Ein allgemeingültiges, übertragbares Modell zum Schadensmechanismus in vergipsten Wandmalereien existiert meines Wissens bislang nicht. Zur Erarbeitung einer Theorie über die Schadensentwicklung sollten u.a. folgende Dinge geklärt werden

1. Wie dicht sind die Malschichten wirklich (Wassertropfen mit Spritzenkanüle aufsetzen und beobachten)
2. Raum- und Nahfeldklima im Jahresverlauf (Kondensation / Luftfeuchteschwankungen)
3. Korrelationen zurückliegender Sanierungen/Konservierungen mit dem heutigen Schadensbild
4. Thermisch-hygrisches Dehnungsverhalten der vergipsten Malschichten gegenüber dem Putz (Nachweis von Scherspannungen)
5. Einfluß der leicht löslichen Salze (Nitrate)

Mikrobiologische Besiedlung

Proben-Bezeichnung	Beschreibung	Bemerkungen	Fragestellung
Bg 1/13B	Vermutl. Grün-schwarz verfärbte Malschichtoberfläche		- Mikrobiologische Besiedlung
Bg 1/14B	Relikte einer rötlichen Malschicht		
Bg 50B	Grauschleier / Versinterung auf Malschicht		

Den folgenden Aussagen liegen sowohl die umfangreichen REM-Untersuchungen zahlreicher Maleroberflächen als auch die qualitative Auswertung der Agar-Abdruckproben (1/13B und 1/1/14B) zugrunde.

Aus den mikroskopischen Untersuchungen können keine Hinweise auf einen nennenswerten Beitrag mikrobiologischer Aktivitäten an der Entstehung der Schäden abgeleitet werden.

Aus der Besiedlung der Agar-Abdruckproben wurde geschlossen, dass auf den beprobten Maleroberflächen nicht mehr Keime vorhanden waren in der Raumluft üblicherweise vorhanden. Es handelt sich um bestimmte Pilze, die jedoch allgegenwärtig sind. Gleiches gilt grundsätzlich für die vorhandenen Bakterien.

Ein erheblicher und nachhaltiger Feuchteeintrag kann die Verhältnisse zugunsten einer raschen Vermehrung der Mikroorganismen verändern.

Unter unveränderten klimatischen Verhältnissen muß die mikrobiologische Besiedlung nicht gesondert im Restaurierungskonzept berücksichtigt werden (keine Biozide o.ä.).

Für Rückfragen stehe ich (auch im Urlaub) unter 0170 / 2130515 zur Verfügung.

Bremen, 16.10.2003

Dr. Frank Schlütter

Amtliche Materialprüfungsanstalt
 der Freien Hansestadt Bremen*
 ein Geschäftsbereich der
Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen



Paul-Heller-Str. 1 28199 Bremen ☎ 0421 / 53708 0 📠 0421 / 53708 10
 mail@mpa-bremen.de http://www.mpa-bremen.de

Dr. rer. nat. Frank Schlütter
 schluetter@mpa-bremen.de

Tel. (0421) 53708-43
 fax (0421) 53708-10

27.09.2007
 Siü

St. Marien Kirche Bergen - Feuchtemessungen

Entnahmestellen: Außenhaus, N-Wand
 Probenentnahme: 24.09.2007
 Feuchtemessung: 27.09.2007

Tabelle 1: Ergebnisse der Feuchtemessungen an der N-Wand des Außenhauses (Tiefenprofile)

Profil	Segment [cm]	Material	Einwaage [g]	Feuchtegehalt [M-%]	Bemerkungen
P 4	Putz	Mörtel	2,2	2,35	
	0-5	Ziegel	10,1	0,65	
	5-10	Ziegel/Mörtel	10,3	0,57	
	10-20	Ziegel	10,4	1,27	
	20-30	Ziegel	10,2	0,45	
	30-45	Ziegel/Mörtel	10,1	0,88	
P 5	Putz	Mörtel	3,0	0,95	
	0-5	Ziegel	10,3	0,30	
	5-10	Ziegel	10,4	0,37	
	10-20	Ziegel/Mörtel	10,4	0,48	
	20-30	Ziegel/Mörtel	10,9	0,39	
	30-45	Ziegel/Mörtel	10,9	0,41	
P 6	Putz	Mörtel	2,2	5,34	
	0-5	Ziegel	10,2	1,60	
	5-10	Ziegel	10,8	1,75	
	10-20	Ziegel	10,9	1,55	
	20-30	Ziegel	10,8	1,97	
	30-45	Ziegel/Mörtel	10,2	7,21	

Segmente, an denen Salzanalysen durchgeführt wurden



DAP-PL-3451.00

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAP Deutsches Akkreditierungssystem
 Prüfwesen GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium.
 Die Anforderungen der DIN EN ISO 9001:1994 werden erfüllt.
 Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

*errichtet am 1. Januar 1987 per Erlass über die Errichtung einer Amtlichen Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen
 bei der Stiftung Institut für Werkstofftechnik, veröffentlicht im Amtsblatt der Freien Hansestadt Bremen 1986, Nr. 79, S. 603

Tabelle 2 Ergebnisse der quantitativen, chemischen Salzanalysen ausgewählter Segmente der Bohrprofile an der N-Wand des Querhauses (Salzgehalte in M-%)

Profil	Segment	Anionen [M-%]			Kationen [M-%]			
		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
P 4	Putz	0,07	0,50	0,18	0,07	0,05	0,02	0,20
	0-5 cm	0,03	0,14	0,06	0,03	0,02	0,01	0,08
P 5	Putz	0,04	0,10	0,06	0,04	0,03	0,01	0,09
	0-5 cm	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04
P 6	Putz	0,25	1,45	0,38	0,21	0,08	0,06	0,52
	0-5 cm	0,02	0,48	0,12	0,07	0,04	0,02	0,17

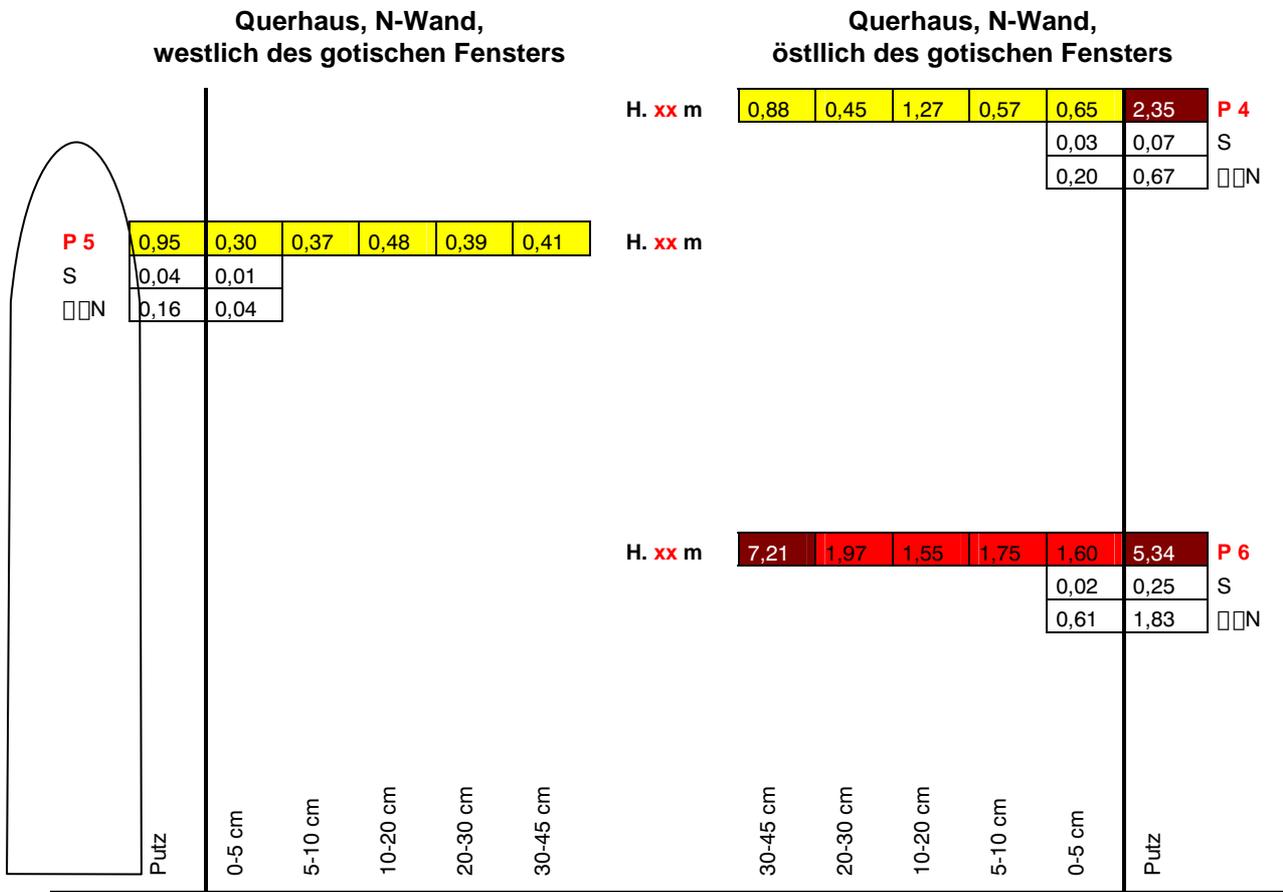
Tabelle 3 Ergebnisse der quantitativen, chemischen Salzanalysen ausgewählter Segmente der Bohrprofile an der N-Wand des Querhauses (Salzgehalte in milliequivalent (meq/kg) und Ionenbilanzen)

Probe	Beschreibung	Anionen [meq/kg]			Kationen [meq/kg]				Summen	
		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	A	K
P 4	Putz	15	80	49	31	12	17	100	144	160
	0-5 cm	6	23	16	12	6	8	41	45	66
P 5	Putz	8	15	17	16	7	5	43	41	70
	0-5 cm	2	4	4	6	3	2	22	11	33
P 6	Putz	52	234	106	93	21	47	261	392	422
	0-5 cm	4	78	35	30	10	14	83	117	137

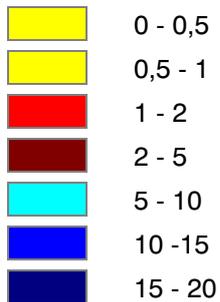
Bewertung

Grafische Darstellungen der Feuchte- und Salzverteilungen in der N-Wand des Querhauses und in der südlichen Chorwand

Grafik 1 □ Profile 4, 5 und 6 (Querhaus, N-Wand)



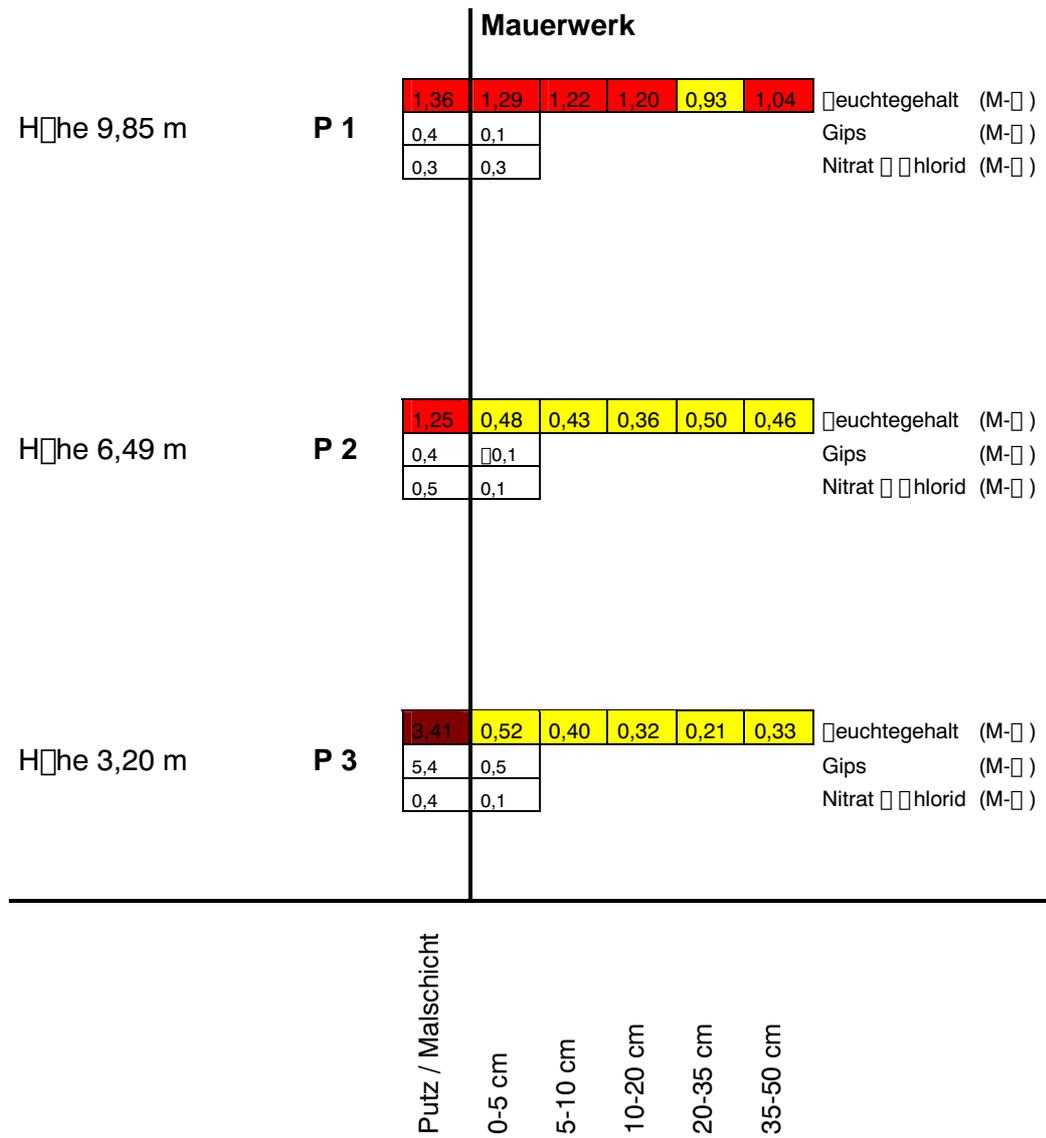
□euchte (M-□)



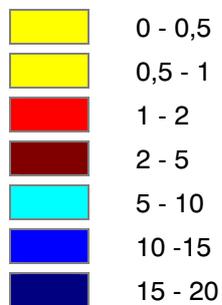
S Sulfat (gebunden als Gips)

□□N Chlorid □ Nitrat

Grafik 2 □ Profile 1, 2 und 3 (Südliche Chorwand)



□euchte (M-□)



DBU Projekt St. Marien Bergen Salzanalysen

Tabelle 1 Ergebnisse der Quantitativen, chemischen Salzanalysen der Kompressenproben Salzgehalte in mg/Probe

Probe	Kommentar	Sulfat	Nitrat	Chlorid	Ammon.	Natrium	Kalium	Magnes.	Calcium	Gesamt- salzgehalt [mg/Probe]	Entf, Salzmenge [g/dm ²]
I/1	mit Superabsorber / 5 Tage (nach 5 Tagen ca. 2/3 abgelöst)	21	14	4,1	11	4,8	0,7	0,8	15	71	0,07
Ia/2	mit wenig Superabsorber / 10 Tage (leichte Ablösung entlang der Ränder)	16	6,5	15	7,7	3	0,6	0,1	0,7	50	0,05
Ib/2	viel Superabsorber / 10 Tage (leichte Ablösungen)	4,3	10	2,8	2,9	5,7	0,5	0,1	0,5	26	0,03
Ia/3	mit wenig Superabsorber / 27 Tage (bis zuletzt fest anhaftend)	2,8	3,5	1	0,6	3,9	0,2	0,1	0,5	12	0,01
Ib/3	mit viel Superabsorber / 27 Tage (bis zuletzt fest anhaftend)	2,9	5,6	1,6	0,6	5	0,2	0,1	0,7	17	0,02
II	ohne Superabsorber, 1 1/4 h Einw.zeit (Komresse am Ende der Einw.zeit)	93	3,3	1,4	36	2,3	0,6	0,4	15	152	0,15
IIa/1	ohne Superabsorber / 7 Tage (am 29.05. noch fest, am 11.06. abgef.)	14	25	4,8	13	3,5	2,4	0,5	7,7	71	0,07
IIb/1	mit Superabsorber / 7 Tage (am 29.05. noch fest, am 11.06. abgef.)	18	9,5	1,9	9,4	4	1,2	0,1	0,5	44	0,04
IIa/2	ohne Superabsorber / 9 Tage (bis 06.06. noch fest, am 11.06. abgef.)	11	24	4,3	5,8	5	2,3	1,2	4,1	58	0,06
IIb/2	mit Superabsorber / 7 Tage (bis 06.06. noch fest, am 11.06. abgef.)	7,5	8,4	1,5	2,9	4,8	0,9	0,1	0,5	26	0,03
IIa/3	ohne Superabsorber / 10 (11 Tage (Ablös. oben li., seit 16.06. unveränd.)	2,4	4,7	0,9	1,2	2,8	0,6	0,1	0,5	13	0,01
IIb/3	mit Superabsorber / 10 (11 Tage (kl. Ablös. oben re.)	1,7	4,1	0,8	0,7	3,3	0,4	0,1	0,5	11	0,01
IIa/4	ohne Superabsorber / 12 Tage (Ablös. oben li.)	2,4	4,2	1	0,8	2,8	0,6	0,1	0,7	13	0,01
IIb/4	mit Superabsorber / 12 Tage (fest)	5,2	10	1,8	1,5	6,4	0,7	0,1	0,5	26	0,03

Tabelle 2 □ Ergebnisse der □uantitativen, chemischen Salzanalyse der **Bohrmehlproben** □Salzgehalt in M-□ □

Probe	Kommentar	Anionen [M-%]			Kationen [M-%]				Gips	Nitrat+Chlorid
		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	□I ⁻	NH ₄ [□]	Na [□]	K [□]	Mg ^{2□}		
1	Vorzustand (Weißer Schleier auf MS)	0,06	0,23	0,07	0,02	0,02	0,01	0,18	0,11	0,30
4.1	Vorzustand (MS□P, Segm. 0-0,5 cm)	0,32	0,41	0,07	0,01	0,05	0,03	0,31	0,58	0,48
4.2	Vorzustand (Z, Segm. 0,5-1,5 cm)	0,24	0,04	0,01	□0,01	0,01	0,01	0,19	0,43	0,05
4.3	Vorzustand (Z, Segm. 1,5-6,5 cm)	0,01	0,01	□0,01	□0,01	□0,01	□0,01	0,04	0,02	0,01
6.1	Vorzustand (MS□P, Segm. 0-0,5 cm)	0,19	0,28	0,04	0,01	0,04	0,03	0,16	0,33	0,31
6.2	Vorzustand (Z, Segm. 0,5-1,5 cm)	0,06	0,02	□0,01	□0,01	□0,01	□0,01	0,08	0,10	0,02
6.3	Vorzustand (Z, Segm. 1,5-6,5 cm)	0,01	0,01	□0,01	□0,01	□0,01	□0,01	0,05	0,01	0,01
9.1	MS nach Am□-Beh.(Segm. 0-0,5 cm) Zustand nach Ilb/4	0,01	0,01	□0,01	0,01	□0,01	0,01	0,07	0,01	0,01
9.2	MS nach Am□-Beh. (Seg. 0,5-1,5cm) Zustand nach Ilb/4	0,08	0,02	□0,01	□0,01	0,01	□0,01	0,08	0,15	0,02
9.3	MS nach Am□-Beh. (Seg. □) Zustand nach Ilb/4	0,04	0,02	□0,01	□0,01	0,01	□0,01	0,05	0,07	0,02

Tabelle 3 □ Ergebnisse der □uantitativen, chemischen Salzanalyse der **Bohrmehlproben** □Salzgehalt in millie□ivalent (me□/kg) und Ionenbilanzen□

Probe	Kommentar	Anionen [meq/kg]			Kationen [meq/kg]				Summen	
		SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	□I ⁻	Na [□]	K [□]	Mg ^{2□}	□a ^{2□}	A	K
1	s. Tab. 2	12	36	20	8	9	5	11	88	121
4.1	s. Tab. 2	68	66	21	5	20	8	26	155	214
4.2	s. Tab. 2	51	7	2	1	3	3	5	93	105
4.3	s. Tab. 2	3	1	1	1	2	2	2	22	29
6.1	s. Tab. 2	39	45	11	3	17	7	22	79	128
6.2	s. Tab. 2	12	3	1	1	2	1	3	42	48
6.3	s. Tab. 2	1	1	0	1	1	1	1	23	26
9.1	s. Tab. 2	2	2	1	3	1	1	5	37	47
9.2	s. Tab. 2	18	3	1	1	4	4	3	42	51
9.3	s. Tab. 2	8	3	1	1	4	4	2	27	38



Paul-Heller-Str. 1 28199 Bremen ☎ 0421 / 53708 0 📠 0421 / 53708 10
 mail@mpa-bremen.de http://www.mpa-bremen.de

Dr. rer. nat. Frank Schlütter
 schluetter@mpa-bremen.de

Tel. (0421) 53708-43
 fax (0421) 53708-10

10.11.2008
 Siü

St. Marien Bergen - Quantitative chemische Salzanalysen (Proben vom Dezember 2007)

Tabelle 1 Ergebnisse der quantitativen, chemischen Salzanalyse [Salzgehalte in M-%]
N + C Summe Nitrat + Chlorid
G Gips (errechnet aus dem Sulfatgehalt)

Probe	Anionen [M-%]			Kationen [M-%]				N + C	G
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺		
CS I-P	0,13	0,07	0,05	0,02	0,01	0,001	0,11	0,12	0,23
CS I_Z	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,04	0,01	0,01
CS II-P	0,17	0,40	0,09	0,04	0,02	0,01	0,23	0,48	0,31
CS II-Z	0,63	0,25	0,05	0,02	0,03	0,01	0,36	0,31	1,13
CS III-P	0,02	0,64	0,14	0,06	0,04	0,02	0,20	0,78	0,03
CS III-Z	0,001	0,04	0,01	0,01	0,01	0,001	0,04	0,05	0,00
SW I-P	0,06	0,63	0,09	0,06	0,04	0,01	0,18	0,72	0,10
SW II-P	0,16	0,52	0,10	0,03	0,03	0,02	0,23	0,62	0,29
SW II-Z	0,01	0,11	0,02	0,01	0,01	0,01	0,05	0,13	0,01

Tabelle 2 Ergebnisse der quantitativen, chemischen Salzanalysen [Salzgehalte in milliequivalent (meq/kg) und Ionenbilanzen]

Probe	Anionen [meq/kg]			Kationen [meq/kg]				Summen	
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	A	K
CS I-P	27	12	14	9	4	4	57	52	73
CS I_Z	1	1	1	1	1	1	20	2	23
CS II-P	36	64	24	16	6	6	115	124	142
CS II-Z	131	41	15	8	7	11	178	187	204
CS III-P	4	103	39	27	10	15	101	145	153
CS III-Z	1	7	3	3	2	2	19	10	25
SW I-P	12	102	25	28	10	12	91	139	141
SW II-P	34	85	28	15	8	15	114	146	152
SW II-Z	1	18	6	4	3	5	26	25	37

Bewertung

- Die Mehrzahl der Proben weist hohe bis sehr hohe Gehalte an leicht löslichen Salzen auf. Es sind sich um Nitrat und Chlorid. Die Nitrat/Chlorid-Summen der betreffenden Proben liegen zwischen 0,3 und 0,8 M³ .
- Die Salzgehalte in den Z-Proben sind teilweise fast genauso hoch wie in den zugehörigen P-Proben.
- Die leicht löslichen Salze bestehen überwiegend aus Nitrat, der Chloridanteil liegt bei etwa 1/4 bis 1/5.
- Die Gipsgehalte sind vernachlässigbar gering.
- Die Probe S I ist insgesamt nur gering belastet.

Dr. Frank Schlütter

DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalerei

Probe 1	Vorzustand (Rotes Gewand) - Weißer Schleier auf MS-Oberfläche neben dunkler Verfärbung der MS (Erbvertiefung)
---------	---

PolMi am Dünnschliff (noch keine REM/EDX-Untersuchung)

- Stratigraphieputz / Rote Malschicht
- Malschicht stellenweise stark ausgedünnt (Schichtdicke meist 50µm)
- Starke Vergipsung, die zu Schäden an der Malschicht geführt hat (Ausdünnung)
- Auflagernde, poröse Gipsschicht; am dicksten auf vergleichsweise intakter Malschicht (bis 150 µm; 3x dicker als die rote Malschicht)
- In ausgedünnten Bereichen ist die Malschicht stark von Gips durchsetzt, auflagernde Gipskruste ist hier dünner (bis 100 µm)

Probe 2	MS nach einer H₂O-Kompresse (Rotes Gewand) - Weißer Schleier auf MS-Oberfläche dichter als im Vorzustand - Haftet fest an der MS-Oberfläche
---------	---

PolMi am Dünnschliff (noch keine REM/EDX-Untersuchung)

- Gipskruste vergleichbar Probe 1
- keine Verdichtung erkennbar
- Gipskruste bereichsweise nicht mehr vorhanden

Probe 3	MS (Rotes Gewand) nach einer Amc-Kompresse + H₂O-Kompresse (2 Tage) - Schleier auf MS-Oberfläche (leicht grau), weniger dicht als im Vorzustand - Schleier lässt sich von der MS-Oberfläche entfernen (Abkehren bzw. Abradieren, Glasfaser)
---------	---

PolMi am Dünnschliff (noch keine REM/EDX-Untersuchung)

- Kalkschicht auf roter Malschicht (Gipsumwandlung offensichtlich erfolgreich)
- Schichtdicke des Kalkes bis 100 µm
- Keine Gipsreste (PolMi)
- Schleier auf der Malschicht ist ein Kalkschleier

Schlussfolgerungen aus den Proben 1-3

- ⇒ Gipskruste in und auf der Malschicht analog der Voruntersuchungen 2003
- ⇒ Auswirkung der H₂O-Kompresse am DS nicht erkennbar
- ⇒ Gips durch A⁺-Behandlung in Kalk umgewandelt
- ⇒ A⁺-Einwirkzeit (keine Angabe) vermutlich ausreichend für vollständige Gipsumwandlung
- ⇒ Ortsfeste Gipsumwandlung (Gipsschleier auf der Malschicht wird durch Kalkschleier substituiert)

Probe 4.1 **Vorzustand (Gelbes Band)**
- MS und Putz

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Grundsätzlich vergleichbar Probe 1
- Bereiche mit dicker Gipskruste (Dicke bis 200 μ m)
- Bereiche mit wenig Gips bzw. ohne auflagernde Gipskruste
- Malschicht durch die Vergipsung verdichtet
- Auflagernde Gipskruste ist porös und von Pigmentkörnern aus der Malschicht durchsetzt

Probe 7 **MS (Gelbes Band) nach Amc-Behandlung (1¼ h) + 1. H₂O-Kompresse**
-

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- stellenweise Kalk (Neubildung aus Gipsumwandlung) auf und in der gelben Malschicht
- gelbe Malschicht über weite Bereiche ohne Auflagerung
- vorhandener Gips vollständig in Kalk umgewandelt
- Gipsumwandlung hat die Verdichtung in der Malschicht deutlich verringert (ursprüngliche Porosität wieder hergestellt)
- gute Pigmentumhüllung (Bindung) im neu gebildeten Kalk in der Malschicht
- Kalk auf der Malschicht kann zu einem Weißschleier geführt haben (Kalkschleier)

Probe 9.1 **MS (Gelbes Band) nach Amc-Behandlung (1¼ h) + 4x H₂O-Kompresse**
-

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- praktisch identisch Probe 7
- im mikroskopischen Bild keine Auswirkung der mehrfachen Wasserkompressen erkennbar

Probe 10 **MS (Gelbes Band) nach Amc-Behandlung (1¼ h) + 1. H₂O-Kompresse**
-

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- praktisch identisch Probe 7. und 9.1
- neu gebildeter Kalk in der Malschicht häufig mit sehr hohem Si-Gehalt, stellenweise reiner Si-Peak (Si kann keiner Phase zugeordnet werden → Erklärung)
- stellenweise kugelige Kalkmorphologien an der Oberfläche

Schlussfolgerungen aus den Proben 4.1; 7.; 9.1 und 10

- ⇒ Ausgangszustand: Poröse Gipskruste auf durch Vergipsung verdichteter Malschicht (analog Probe 1)
- ⇒ Gips durch A₂-Behandlung sowohl in der aufliegenden Kruste als auch in der Malschicht in Kalk umgewandelt
- ⇒ Gips vollständig in Kalk umgewandelt (A₂-Einwirkzeit (1 h) ausreichend für vollständige Gipsumwandlung)
- ⇒ Wiederherstellung der ursprünglichen Porosität in der Malschicht
- ⇒ Mikroskopisch kein Unterschied zwischen 1x oder 4x H₂O-Kompresse erkennbar

Reserve

Probe 6.1	Vorzustand (Weißes Band) - MS und Putz
-----------	--

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Nur stellenweise vergipst (sehr dünne, aufliegende Gipskruste)
 - Gipskruste entspricht nicht den Vergipsungen auf Probe 1 und 4.1
- ⇒ ungeeignete Probe

Probe 4.1

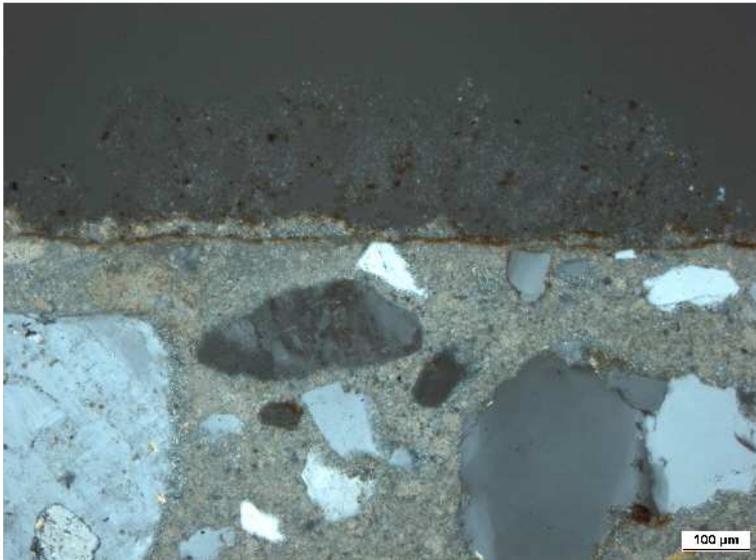


Abb.:
Kalkputz / Gelbe Malschicht /
auflagernde Gipskruste

08M0383□002

Probe 4.1

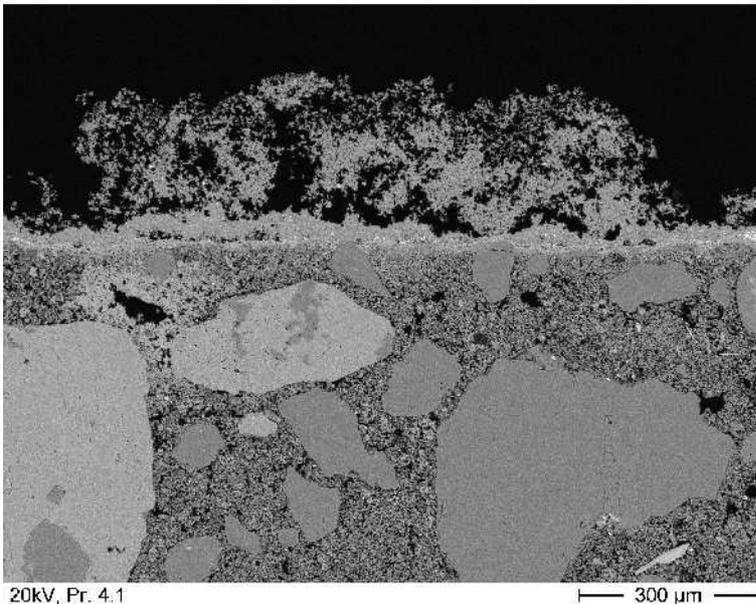


Abb.:
zu 002□Vergipste Malschicht mit
aufliegender Gipskruste

08M0383□008

Probe 4.1

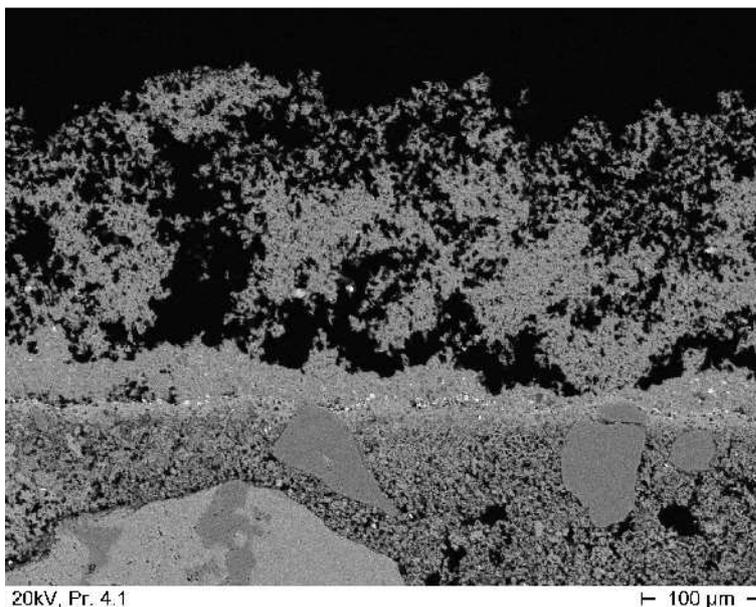
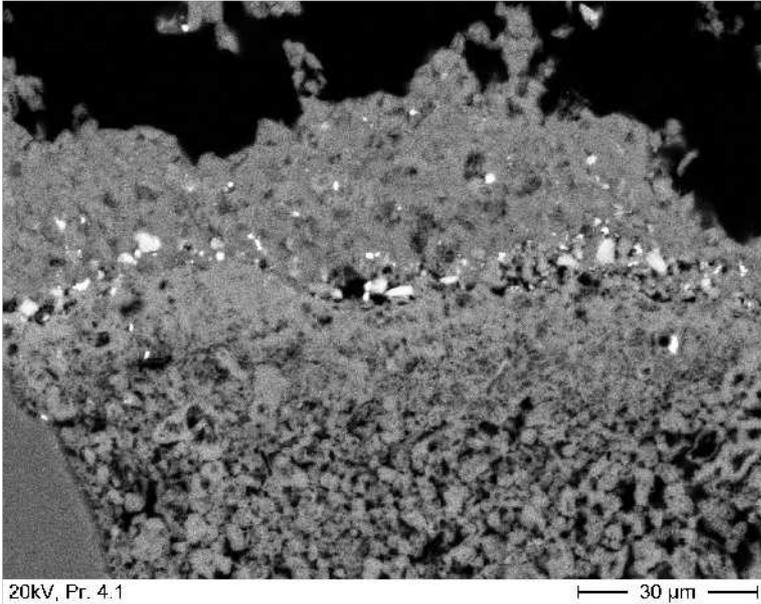


Abb.:
Detail aus 008□Die Malschicht ist
durch die Gipsbildung verdichtet,
die Gipskruste hingegen ist sehr
por□s.

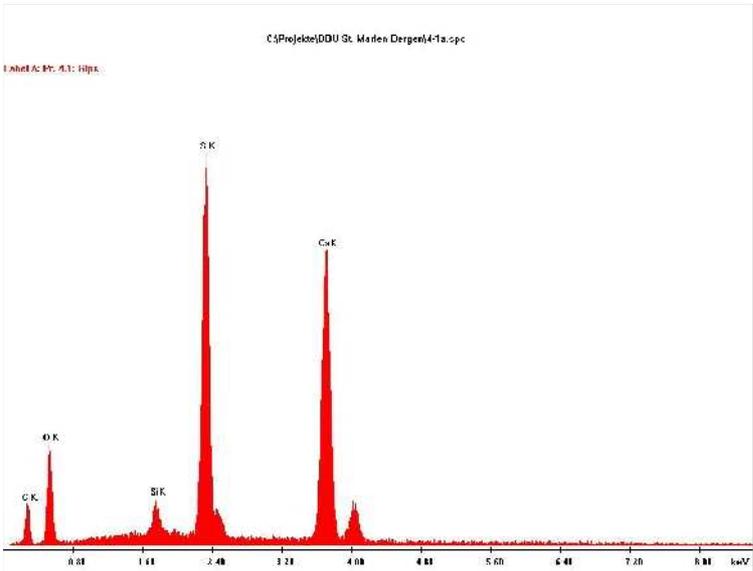
08M0383□009



Probe 4.1

Abb.:
1. Detail aus 009 □ Verdichtete,
vergipste Malschicht auf Kalkputz

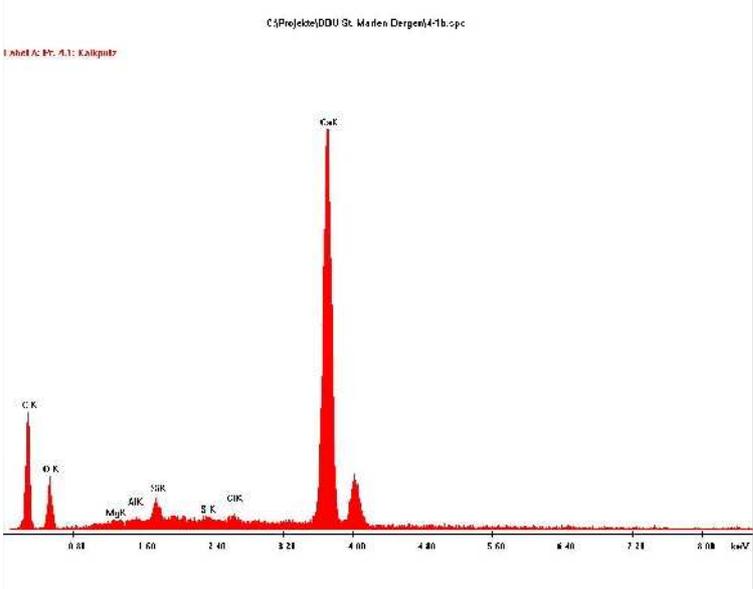
08M0383 □ 010



Probe 4.1

Abb.:
EDX Gips in 010

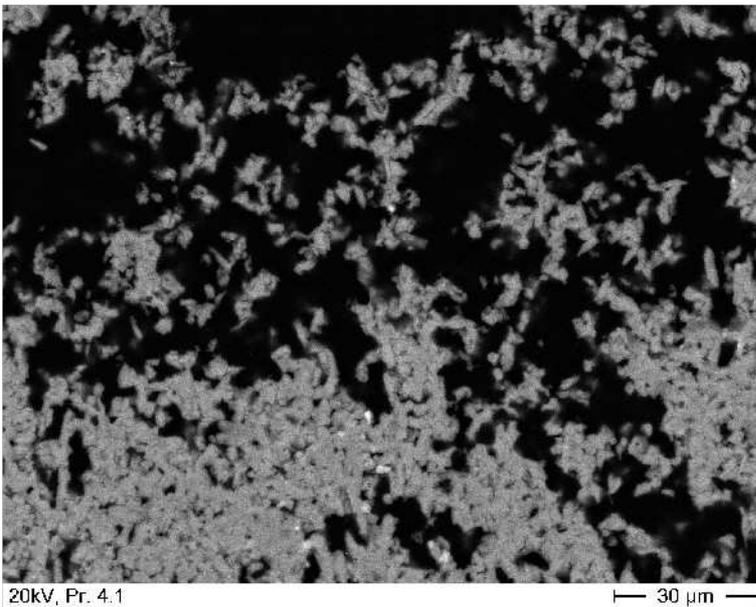
08M0383 □ 017



Probe 4.1

Abb.:
EDX Kalkputz in 010

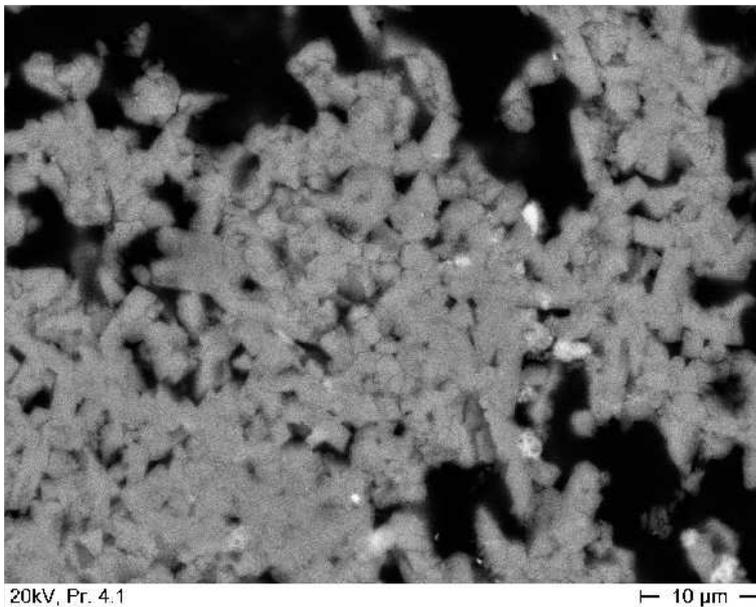
08M0383 □ 018



Probe 4.1

Abb.:
2. Detail aus 009 □ Aufliegende
Gipskruste mit unterschiedlichen
Porositäten

08M0383 □ 011



Probe 4.1

Abb.:
Detail aus 011 □ Gipskristalle in
relativ dichtem Bereich der
Gipskruste

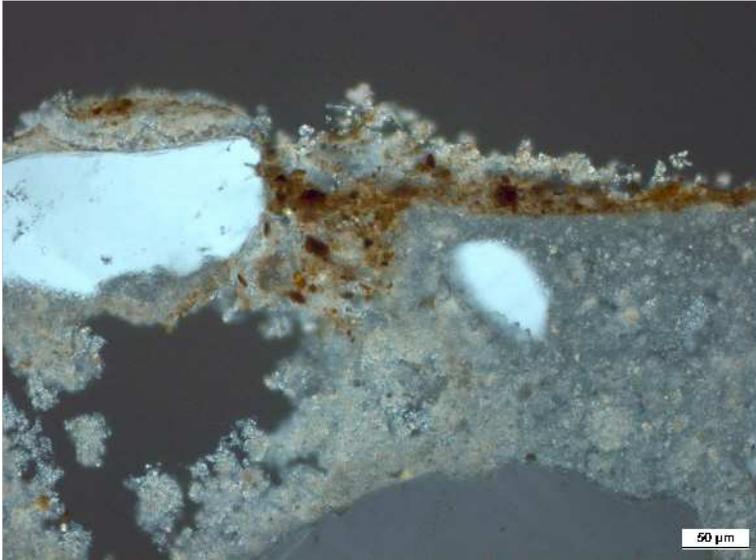
08M0383 □ 012



Probe 4.1

Abb.:
Probenstelle mit teilweise hohl
liegender, vergipster Malschicht.

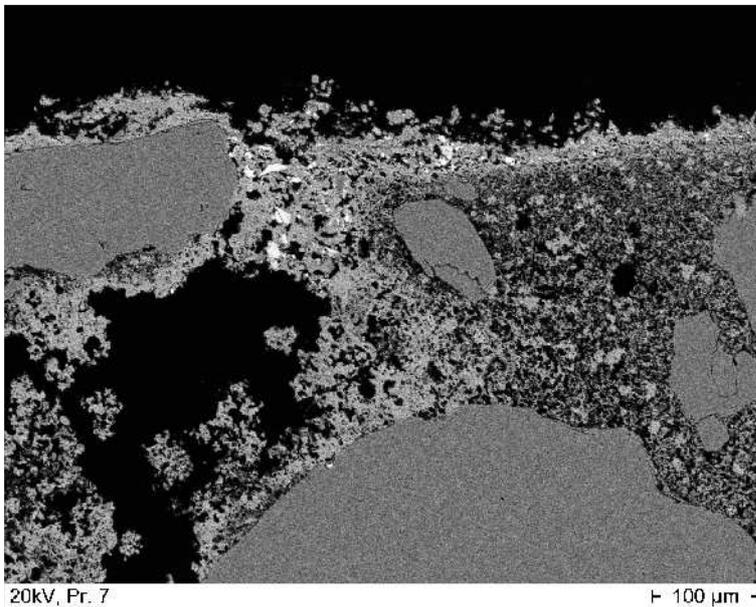
08M0383 □ 016



Probe 7

Abb.:
Gelbe Malschicht und Kalk aus A-
Behandlung (helle Strukturen).

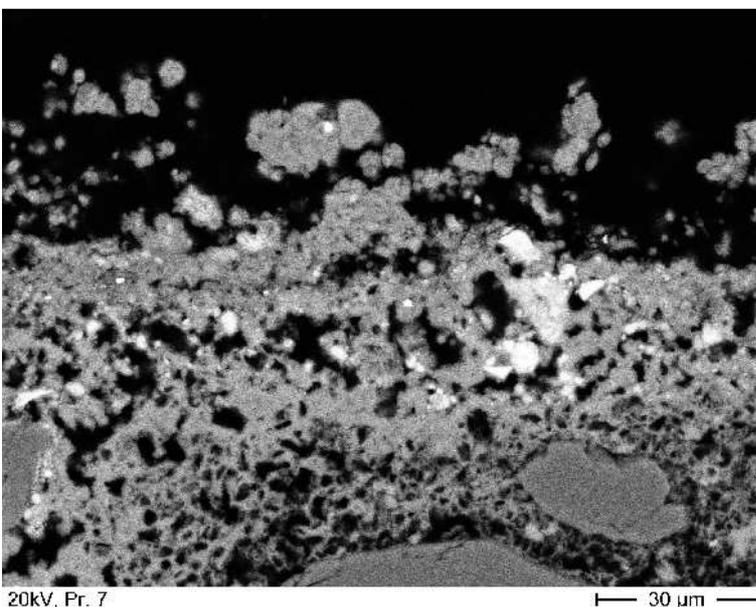
08M0385003



Probe 7

Abb.:
zu 003 Neu gebildeter Kalk im
Bereich der Malschicht. Es ist eine
deutliche Porosität in der Malschicht
erkennbar.

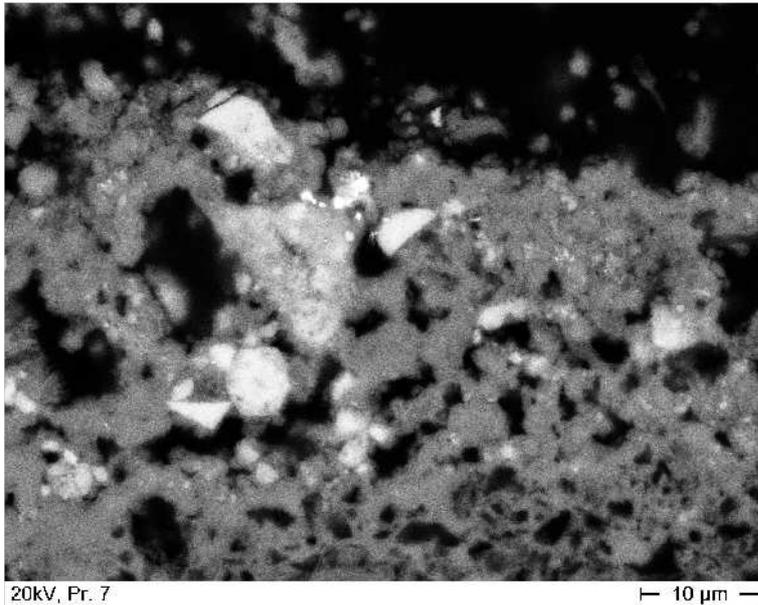
08M0385006



Probe 7

Abb.:
Detail aus 006.

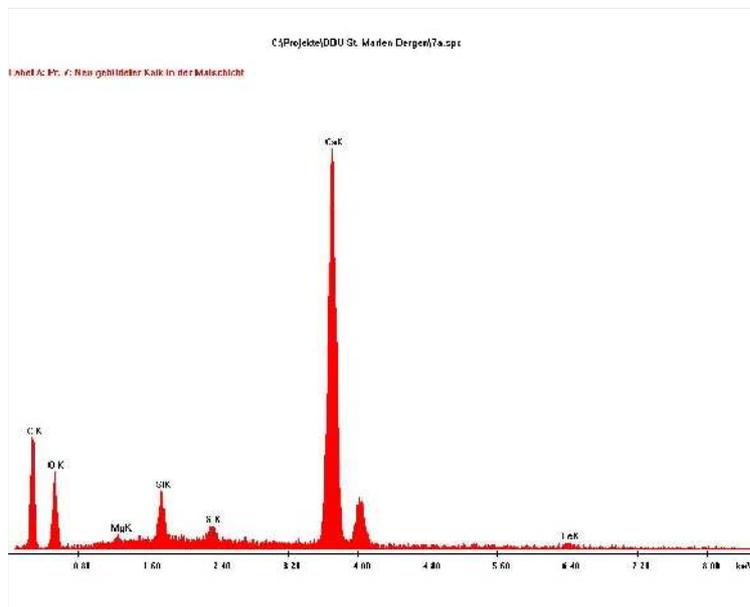
08M0385007



Probe 7

Abb.:
Detail aus 007. Malschicht nach A⁺-
Einwirkung. Poröse Kalkstrukturen
mit eingebundenen Pigmenten
(helle Körner). Gipsreste sind nicht
erkennbar.

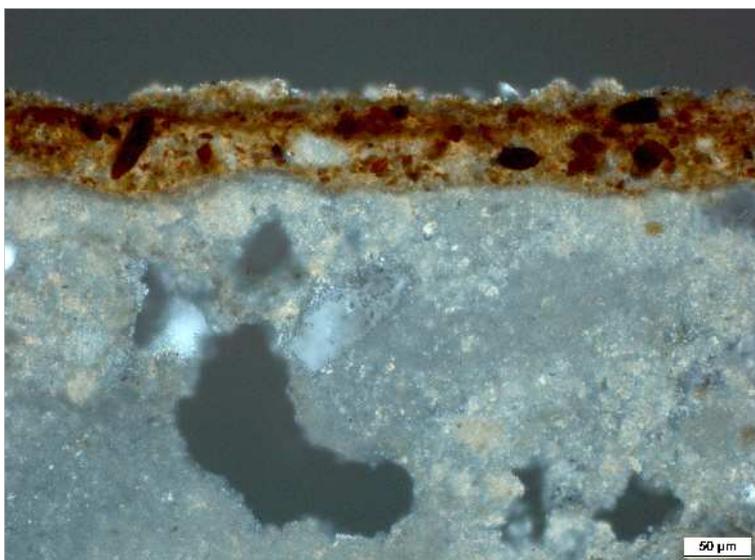
08M0385□008



Probe 7

Abb.:
EDX neu gebildeter Kalk in 008.
Sehr geringer S-Gehalt.

08M0385□011



Probe 9.1

Abb.:
Gelbe Malschicht auf Kalkputz
(nach A⁺-Behandlung).

08M0386□002

Probe 9.1

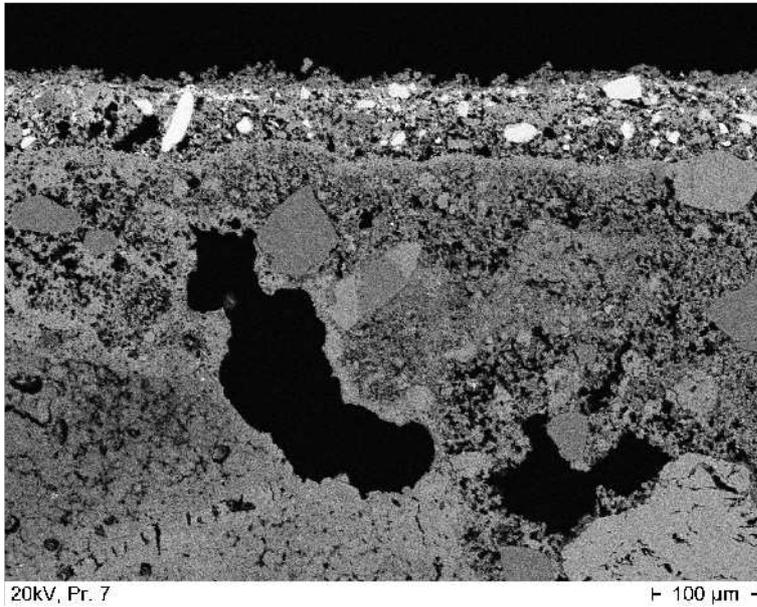


Abb.:
zu PolMi in 002 Pigmentkörnern
(helle Körner) in Malschicht nach
A₂-Einwirkung.

08M0386_007

Probe 9.1

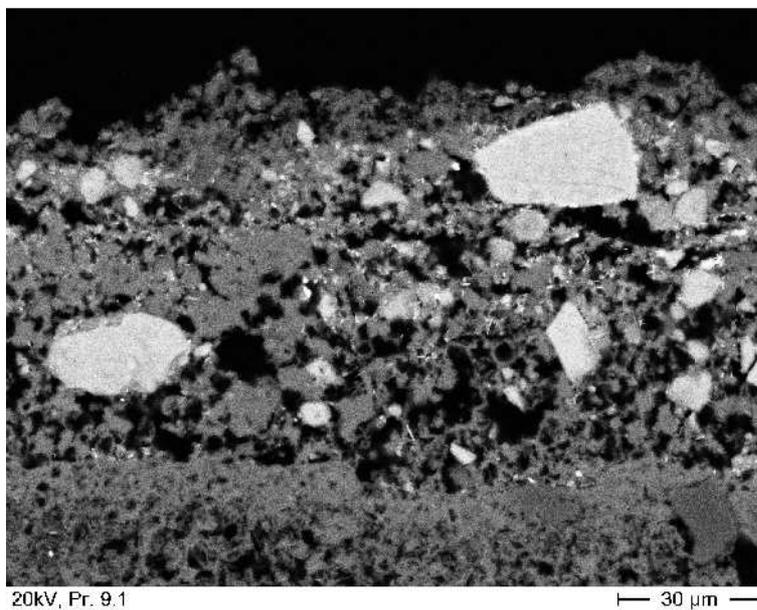


Abb.:
Detail aus 007 Malschicht nach A₂-
Einwirkung. Porosität wieder
hergestellt. Keine Gipsreste. Gute
Einbindung der Pigmentkörnern.

08M0386_008

Probe 9.1

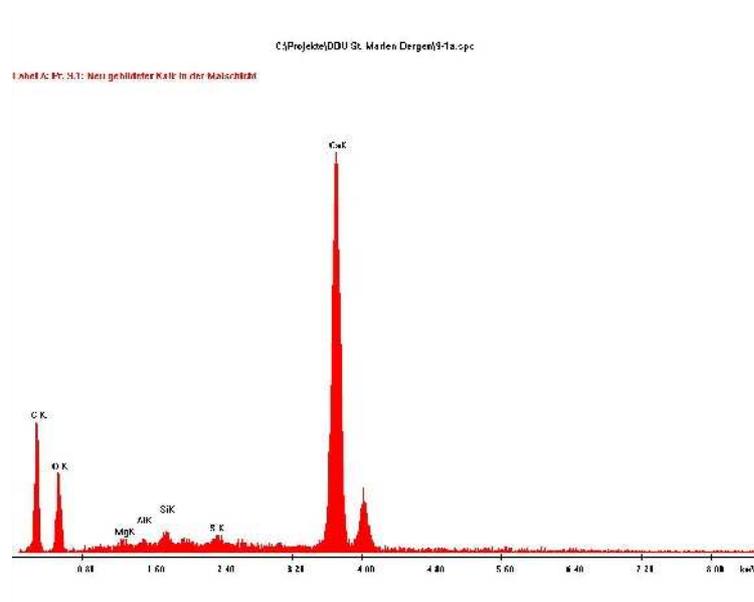
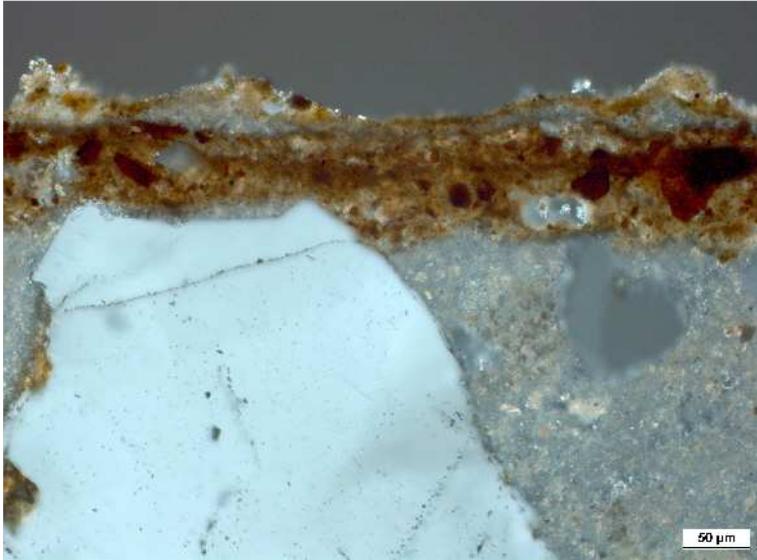


Abb.:
EDX der neu gebildeten
Kalkkristalle in der Malschicht in
008.

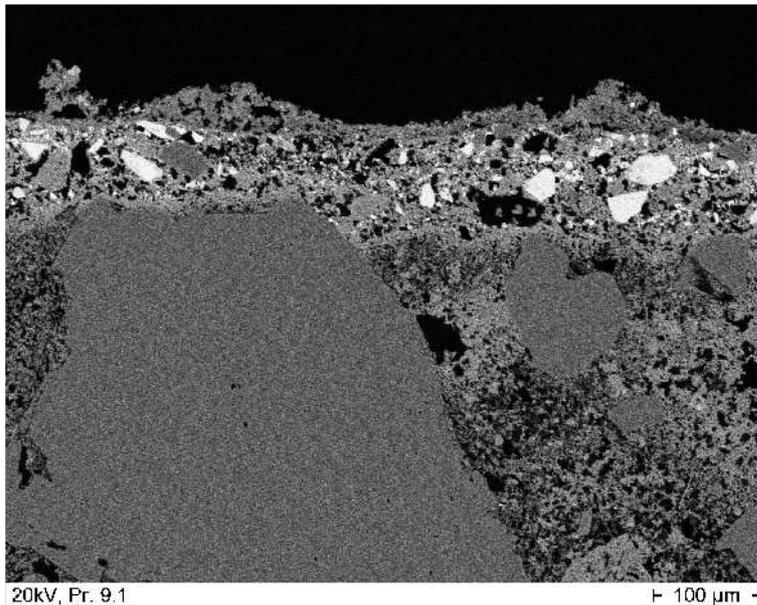
08M0386_011



Probe 9.1

Abb.:
Gelbe Malschicht auf Kalkputz
(nach A₁-Behandlung).

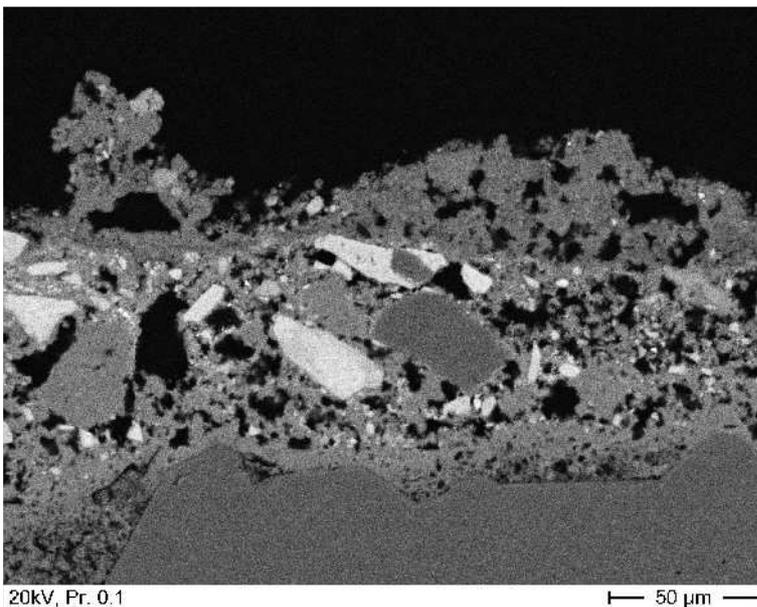
08M0386□006



Probe 9.1

Abb.:
zu PoIMi in 006□Por□se Malschicht
aus neu gebildetem Kalk. Auf der
Malschicht ist eine dünne, por□se
Schicht aus pigmentfreien
Kalkkristallen zu erkennen (Reste
der in Kalk umgewandelten
Gipskruste).

08M0386□009



Probe 9.1

Abb.:
Detail aus 009.

08M0386□010

Probe 10

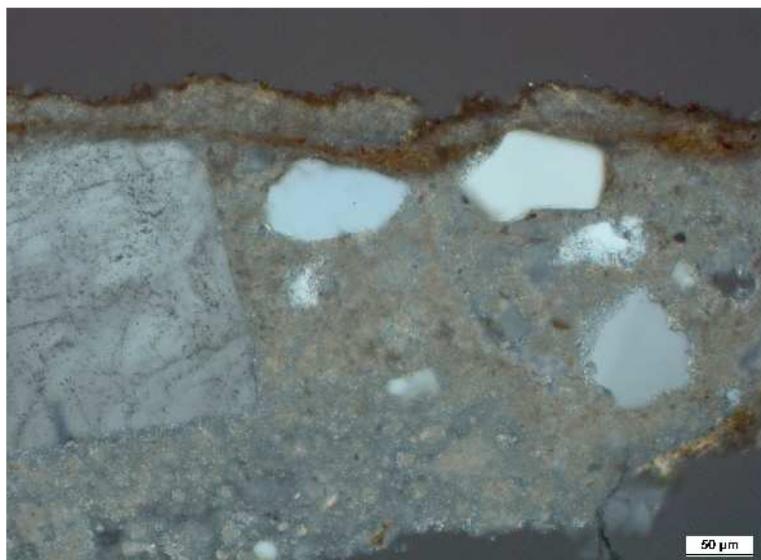


Abb.:
Gelbe Malschicht auf Kalkputz nach A₁-Behandlung. Die hellen Strukturen in der Malschicht sind neu gebildeter Kalk.

08M0387□003

Probe 10

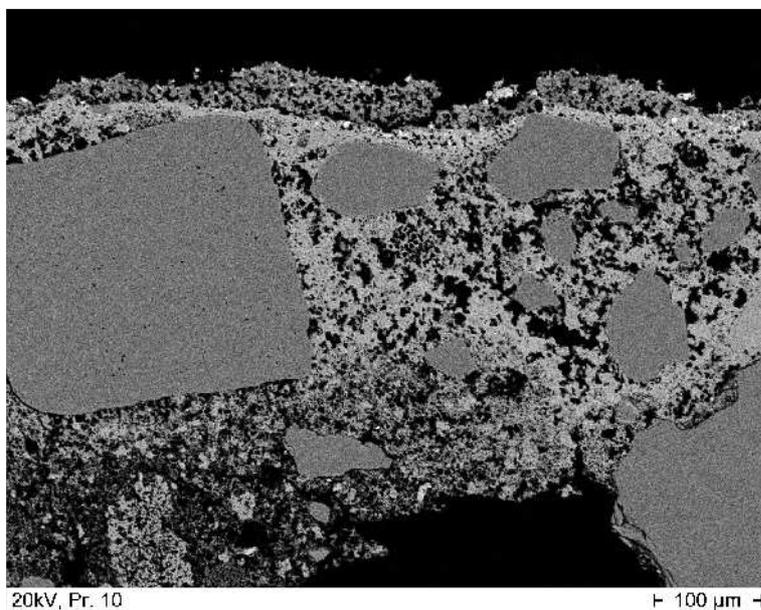


Abb.:
zu PolMi in 003□Poröse Malschicht aus neu gebildetem Kalk. Auf der Malschicht ist eine dünne, poröse Schicht aus pigmentfreien Kalkkristallen zu erkennen (Reste der in Kalk umgewandelten Gipskruste).

08M0387□008

Probe 10

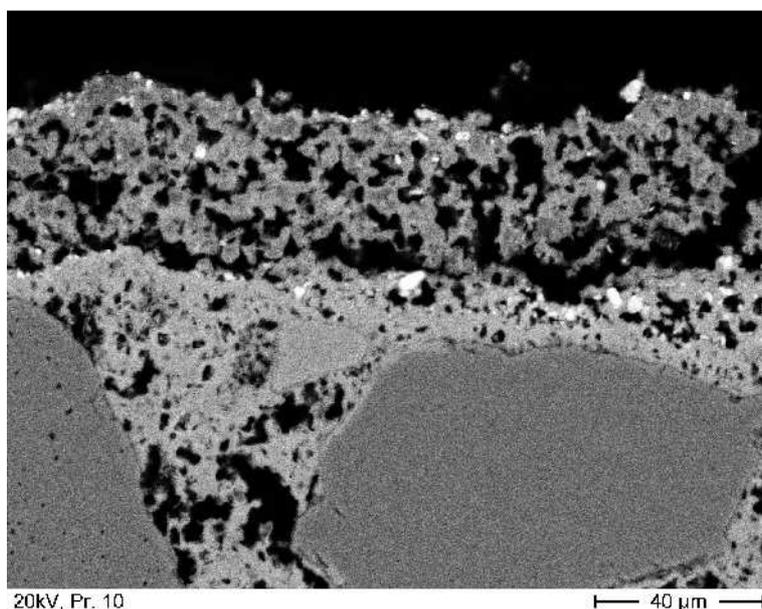
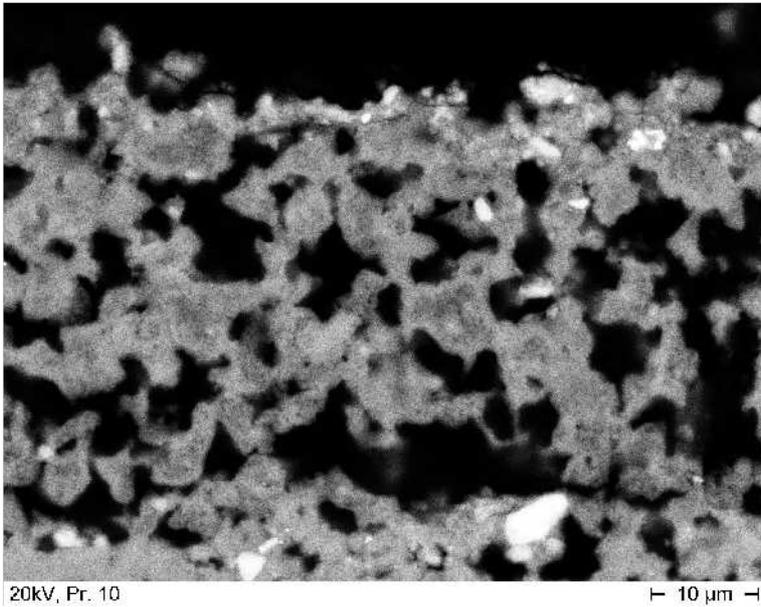


Abb.:
Detail aus 008.

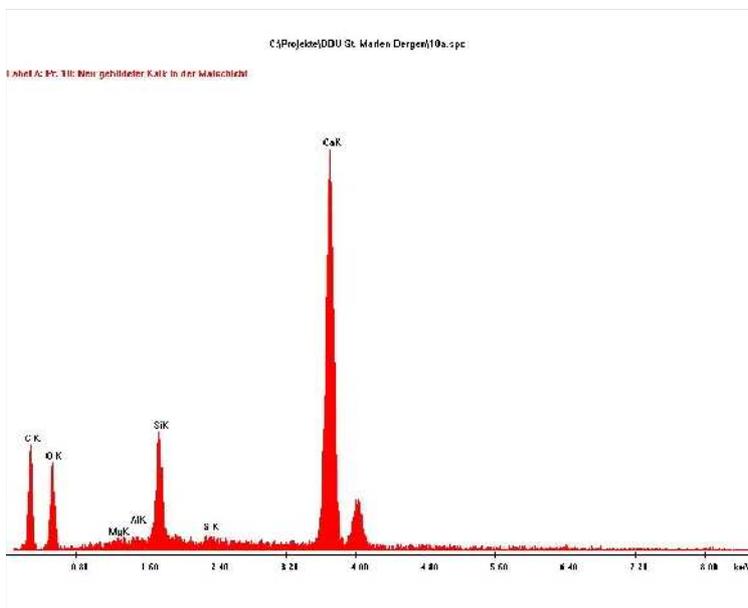
08M0387□009



Probe 10

Abb.:
Detail aus 009. Die Kalkstrukturen weisen einen ungewöhnlich hohen Si-Gehalt auf (vgl. 014). Das Si ist nicht an eine separate Phase gebunden.

08M0387□010



Probe 10

Abb.:
EDX der neu gebildeten Kalkstrukturen in 010□Sehr hoher Si-Gehalt.

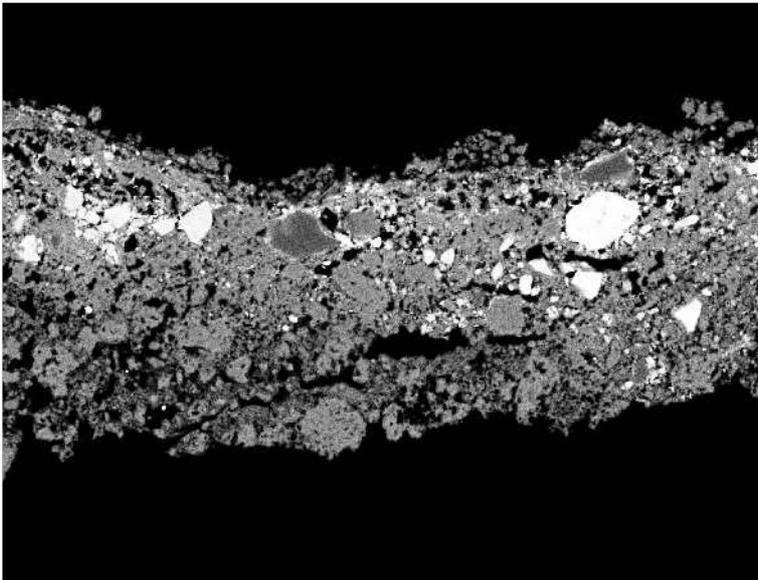
08M0387□014



Probe 10

Abb.:
Gelbe Malschicht auf Kalkputz nach A□-Behandlung In der rechten Bildhälfte Kalk auf der gelben Malschicht.

08M0387□004



20kV, Pr. 10

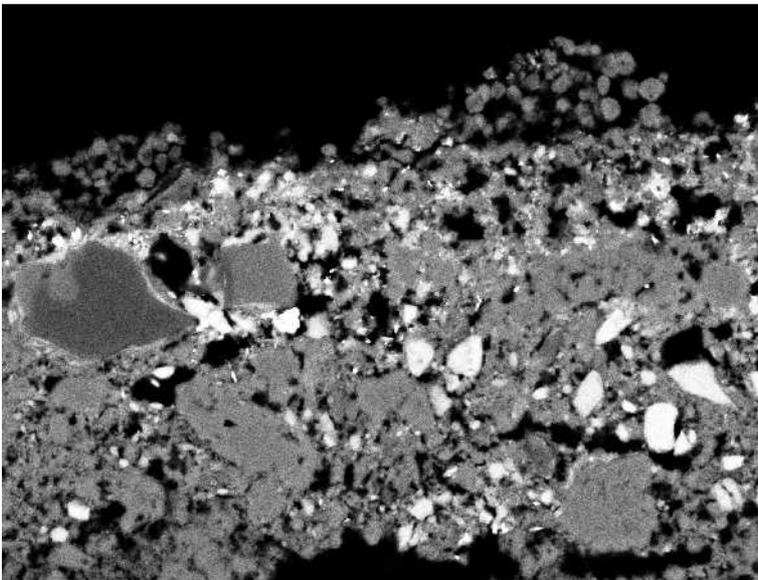
60 µm

Probe 10

Abb.:

Detail aus 004 in der REM-RE-Darstellung. Malschicht nach A₁-Gipsumwandlung. Porosität wieder hergestellt. Keine Gipsreste.

08M0387□011



20kV, Pr. 10

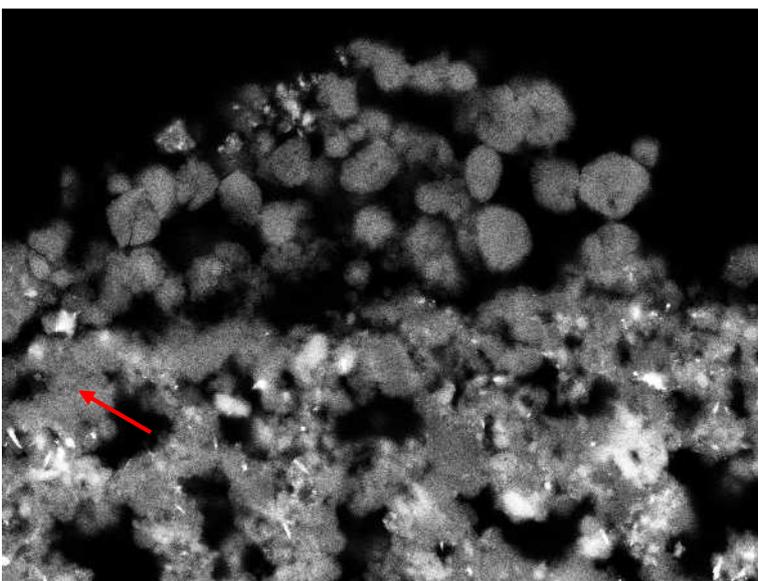
30 µm

Probe 10

Abb.:

Detail aus 011.

08M0387□012



20kV, Pr. 10

10 µm

Probe 10

Abb.:

Detail aus 012□Die Kalkstrukturen weisen häufig einen sehr hohen Si-gehalt auf (Pfeilmarkierung, vgl. 015), während die kugelförmigen □alcitkristalle Si-frei sind (vgl. 016)

08M0387□013

Probe 10

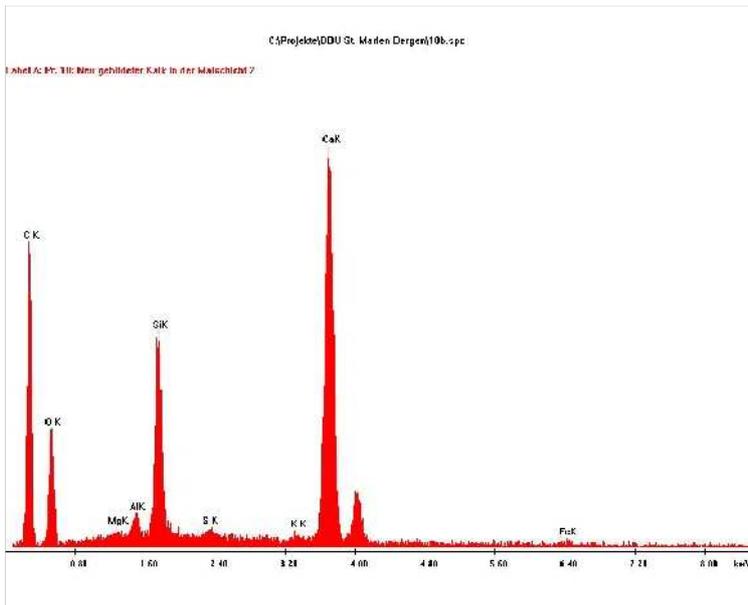


Abb.:
EDX der in 013 durch den Pfeil markierten Kalkstruktur. Sehr hoher Si-Gehalt.

08M0387-015

Probe 10

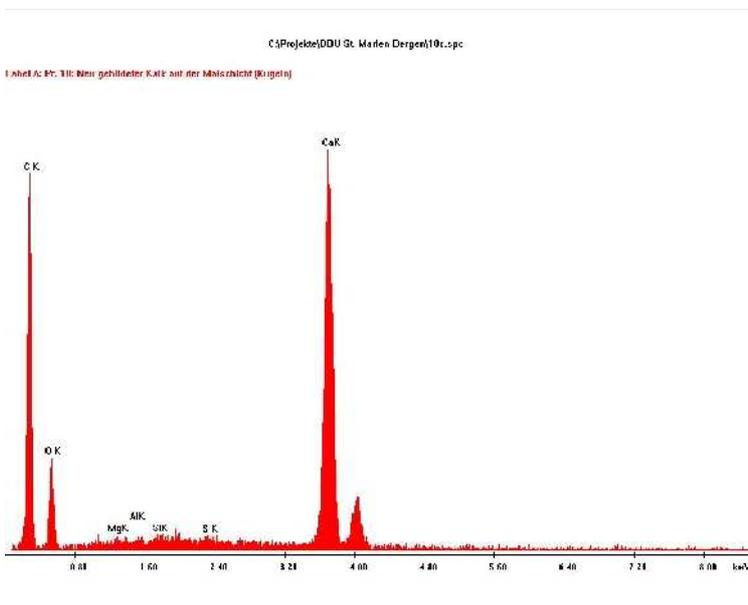


Abb.:
EDX der kugelförmigen Kalkkristalle auf der Malschicht in 013. Si-frei.

08M0387-016

DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe
Datenbank **09M0396**

- Probe 11 S-W, 2. Szene von oben, linke, rote Fenstereinfassung
MS nach IA-Behandlung (Dowex CO₃²⁻ über Japanpapier; ohne Arbocel)
Ergebnis
 → vollständige Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung
Vorzustand
 → dichter weißer Schleier fest mit der MS-Oberfläche verwachsen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- rote Malschicht auf Putz
 - relativ geringe Dicke der Malschicht meist $\leq 25 \mu\text{m}$, in Vertiefungen bis $50 \mu\text{m}$
 - deutliche Reduzierung der Vergipsung gegenüber dem unbehandelten Zustand
 - nur stellenweise noch Gips vorhanden (einzelne Kristalle)
 - Malschicht besteht aus feinkristallinem Kalk und Pigmenten
 - Kalk in der Malschicht sehr wahrscheinlich Sekundärbildung (Umwandlungsprodukt)
 - geringe Veränderungen im Putz an der Sinterschicht (wirkt etwas weniger dicht)
- erfolgreiche Umwandlung/Entfernung des Gipses

Datenbank **09M0397**

- Probe 12 S-W, 2. Szene von oben, linke, rote Fenstereinfassung
MS nach IA-Behandlung (Amberlite OH⁻ mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)
Ergebnis
 → Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung
 → es bleibt ein feiner heller Rückstand auf der O, der sich abkehren lässt (soweit es die Stabilität der MS erlaubt)
Vorzustand
 → dichter weißer Schleier fest mit der MS-Oberfläche verwachsen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- vergleichbar Probe 11
 - stellenweise Kompressenreste auf der Malschicht
 - kein Gips in oder auf der Malschicht nachweisbar
 - Malschicht besteht aus feinkristallinem Kalk und Pigmenten
 - Kalk in der Malschicht sehr wahrscheinlich Sekundärbildung (Umwandlungsprodukt)
 - Kalkformen nicht von denen der Probe 11 unterscheidbar (anderer IA)
 - geringe Veränderungen im Putz an der Sinterschicht (wirkt etwas weniger dicht)
- erfolgreiche Umwandlung/Entfernung des Gipses

Probe 13 S W, 2. Szene von oben, linke, rote Fenstereinfassung
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO_3^{2-} mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)

Ergebnis

- Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung
- es bleibt ein feiner heller Rückstand auf der O, der sich abkehren lässt (soweit es die Stabilität der MS erlaubt)

Vorzustand

- dichter weißer Schleier fest mit der MS-Oberfläche verwachsen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- vergleichbar Probe 11 und 12
 - kein Gips in oder auf der Malschicht erkennbar
 - Malschicht besteht aus feinkristallinem Kalk und Pigmenten
 - Kalk in der Malschicht sehr wahrscheinlich Sekundärbildung (Umwandlungsprodukt)
 - Kalkformen nicht von denen der Proben 11 und 12 unterscheidbar (andere IA)
 - geringe Veränderungen im Putz an der Sinterschicht (wirkt etwas weniger dicht)
- erfolgreiche Umwandlung/Entfernung des Gipses

Probe 14 S W, 3. Szene von oben, grüner Rahmen

Unbehandelter Vorzustand:

- gleichmäßig weiße Verschleierung, nicht abzukehren
- Vergleich zu Probe 15

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Grüne Malschicht auf Putz
 - an einigen Stellen poröse Gips-Auflagerungen auf der Malschicht
 - Pigmente meist von Gips umschlossen
 - Schmale Sinterkruste an der Außenseite des Putzes, unterhalb der Versinterung an Porenwandungen ebenfalls Sintermerkmale
 - Putz nicht vergipst
 - grüne und blaue Pigmentkörner, vermutlich mit Pflanzenschwarz ausgemischt
 - Pigmente nicht bestimmt (vermutlich keine Cu-Pigmente, MS enthält Schwerspat)
- Vergipung der MS → aufliegende Gipskruste

Datenbank 09M0400

Probe 15 S W, 3. Szene von oben, unterhalb des Fensters, grüner Rahmen
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO_3^{2-} mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)

Ergebnis

- vollständige Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung
- direkter Vergleich zu Probe 14

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- vereinzelt Auflagerungen, die nicht eindeutig identifiziert werden können
- keine Gipskristalle in oder auf der Malschicht vorhanden
- Malschicht besteht aus feinkristallinem Kalk und Pigmenten
- Kalk in der Malschicht sehr wahrscheinlich Sekundärbildung (Umwandlungsprodukt)

→ erfolgreiche Umwandlung/Entfernung des Gipses

Datenbank 09M0401

Probe 16 S W, 3. Szene von oben, unterhalb des Fensters, im Baum
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO_3^{2-} mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)

Ergebnis

- Weißschleier im stark vorgeschädigten Bereich nicht vollständig entfernt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Malschicht nur reliktsch in Vertiefungen erhalten
- sehr hoher Gipsgehalt in der Malschicht
- kein neu gebildeter Kalk vorhanden
- vergleichbar etwa der Referenzprobe 14

→ keine Umwandlung/Entfernung des Gipses

Datenbank 09M0402

Probe 17 S W, 3. Szene von oben, unterhalb des Fensters, im Baum
MS nach IA-Behandlung (Amberlite OH^- mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)

Ergebnis

- Entfernung des Weißschleiers nicht vollständig
- im Bereich der Fuge bleiben weiße Auflagen, die sich nicht abkehren lassen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Malschicht nur reliktsch erhalten
- Grüne Pigmente und Pflanzenschwarz
- sehr hoher Gipsgehalt in der Malschicht
- Gips meist sehr dicht und kompakt
- kein neu gebildeter Kalk vorhanden

→ keine Umwandlung/Entfernung des Gipses

- Probe 18 S W, 3. Szene von oben, unterhalb des Fensters, im Baum
Unbehandelter Vorzustand
 → dichte weiße Kruste auf der Mauer
 → Vergleich zu Probe 17

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- starke Gipsauflagerungen auf dem Putz (Schichtdicke bis 200 µm)
 - nach außen sehr poröse Gipskruste, unmittelbar auf dem Putz zum Teil sehr dichte Gipsschicht
 - Malschichtrelikte (grüne und blaue Pigmentkörner, Pflanzenschwarz) sowohl innerhalb der dichten Vergipsung als auch in der porösen Gipsschicht
 - Keine eindeutige Grenzschicht zwischen Putz und Malschicht
 - starke Versinterung des Putzes
- starke, dichte Vergipsung der MS mit aufliegende Gipskruste

- Probe 20 S, 2. Szene von oben, rechts, braunes Gewand
**MS nach IA-Behandlung (Amberlite OH⁻ über Japanpapier; ohne Arbocel),
 2x behandelt**
Ergebnis
 → nach der Behandlung deutliche Aufhellung (Reinigungseffekt)
Vorzustand
 → dunkel versintert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- dünne braune Malschicht bzw. deren Relikte
 - Oberfläche versintert (schmale Kalksinterschicht an der Außenseite des Putzes)
 - sehr hoher Si-Gehalt in der Putzoberfläche/Sinterschicht und in den Malschichtresten
 → KSE-Festigung oder Silikatfarbe
 - stellenweise Pigmente in der versinterten Putzoberfläche
 - kein Gips
 - keine Kalkneubildungen vorhanden
- Versinterung der Putzoberfläche durch Kalk mit Silikat
 → kein Gips
 → Umwandlung/Entfernung des Gipses nicht sicher zu bewerten (keine Umwandlungsprodukte nachweisbar)

Achtung: Probe nicht eindeutig zuordenbar (kann auch 22 sein)

Datenbank 09M0405

Probe 21 □ S, 2. Szene von oben, rechts, braunes Gewand
MS nach IA-Behandlung (Amberlite OH⁻ mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier), 2x behandelt
Ergebnis
→ nach der Behandlung deutlich heller (wirkt verschleiert)
Vorzustand
→ dunkel versintert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- dünne braune Malschicht bzw. deren Relikte
 - Versinterung an der Außenseite des Putzes (Kalk)
 - Kein Silikat wie an Probe 20
 - vereinzelt Gipsauflagerungen auf der braunen Malschicht, überwiegend gipsfrei
 - Malschicht ebenfalls stark versintert (in diesen Bereichen aber gipsfrei)
 - Keine Kalkneubildungen
- Versinterung der Putzoberfläche und der Malschicht durch Kalk (ohne Silikat)
→ nur punktuell Gips (nicht die Ursache der Aufhellung)
→ Umwandlung/Entfernung des Gipses nicht sicher zu bewerten (keine Umwandlungsprodukte nachweisbar)
→ Aufhellung wahrscheinlich die Folge der Freilegung der Versinterungen

Achtung: Probe nicht eindeutig zuordenbar (kann auch 21 sein)

Datenbank 09M0406

Probe 22 □ S, 2. Szene von oben, rechts, braunes Gewand
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO₃²⁻ mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier), 2x behandelt
Ergebnis
→ nach der Behandlung deutlich heller (wirkt verschleiert oder krepirt)
Vorzustand
→ dunkel versintert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

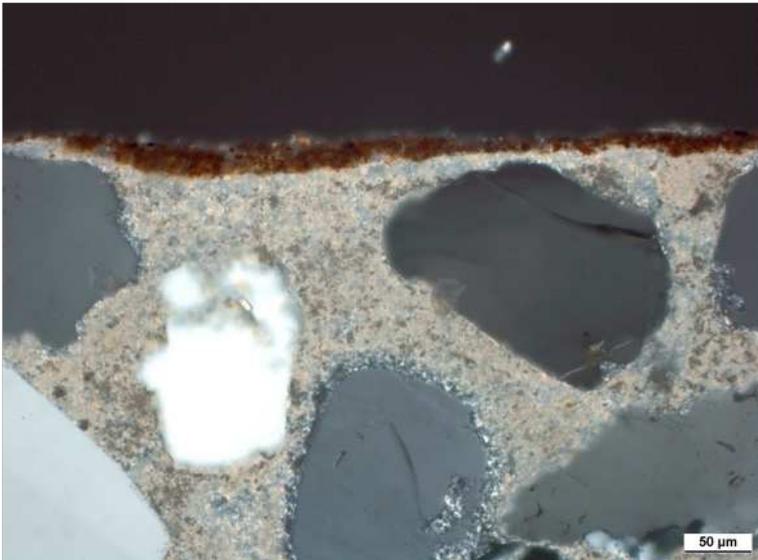
- dünne braune Malschicht bzw. deren Relikte auf Putz
 - Malschicht bereichsweise gipsfrei, stellenweise stark vergipst (Reste einer dichten Malschicht/Gips-Kruste)
 - keine porösen Gips-Auflagerungen
 - vergleichsweise geringe Versinterung des Putzes
 - keine Kalkneubildungen
- uneinheitliches Ergebnis gipsfreie Malschicht neben sehr stark vergipster Malschicht
→ Umwandlung/Entfernung des Gipses nicht sicher zu bewerten (keine Umwandlungsprodukte nachweisbar)
→ Ursache der deutlichen Aufhellung unklar

Anmerkungen U. Hahn:

Grobes Ionenaustauschharz □ Dowex
□eines Ionenaustauschharz □ Powdex

- sämtliche Proben haben mind. 4-5 Stunden eingewirkt; der IA wurde immer über □apanpapier angetragen und mit einer dicken Kompresse aus Arbocel B □ 1000 feuchtgehalten (□ □olienabdeckung)
- die rel. feinpulvrigen Typen dringen durch die □apanpapierzwischenlage bis auf die Malschichtoberfläche und lassen sich von dort in schlecht gebundenen Partien nicht ohne Malschichtverluste entfernen
- urch Zumischung von Arbocel B □ 200 zum IA gestaltet sich der Antrag des Materials auf die Wand wesentlich einfacher; es dringt weit weniger Material durch das □apanpapier hindurch, weshalb die Anwendung in dieser Kombination in weiten Bereichen akzeptabel erscheint
- der □abonat-beladene Typ und der OH-beladene Typ unterscheiden sich in den Versuchen visuell zunächst kaum
- **Pr. 11:** Versuche mit einem selbst umgeladenen IA (Dowex □I- /□ O32- , 200-400 mesh) ergaben in den zunächst sehr klein angelegten Probeflächen bisher die besten Ergebnisse; wegen der gröβeren K□rnung dringt hier kein Material durch die □apanpapierzwischenlage und läßt sich somit rückstandfrei in einem Arbeitsgang entfernen; die behandelte □läche erscheint etwas klarer, als die mit dem feineren Sorten behandelten □lächen; eine Rasterung der O□, die wegen die g□beren K□rnung zu erwarten wäre, ist visuell nicht erkennbar
- **Pr. 11-18:** alle 3 Typen entfernen die dünnen Weißschleier, die für die W-Wand des S- □uerhauses typisch sind (durch Wiederholung der Behandlung lassen sich auch zunächst nicht vollständig abnehmbare Reste entfernen) ; dicke Verkrustungen ließen sich nicht zufriedenstellend umwandeln (hier ist die Ammoniumcarbonat-Behandlung erfolgreicher)
- **Pr. 20-22:** auch die dünnen Gipskrusten im unteren Teil der südl. □horwand lassen sich offenbar mit Hilfe der IA entfernen - oder nur dünnen□
Pr. 21,22: Versuche mit Arbocelzusatz zum IA erscheinen heller, eher weißlich; hier wäre zu klären, ob der Gips vollständig entfernt wurde oder ob Reste der Kruste krepieren sind (Weißschleier) --□ hier ist zu entscheiden, ob die Gipsumwandlung überhaupt sinnvoll ist
- **Pr.14, 18:** Vorzustände im direkten Vergleich zu Probe 15 bzw. 17 nach der IA-Behandlung
- **Pr. 17, 18:** deutlich stärkere Verkrustung im Bereich der □uge vor und nach der IA-Behandlung; hier stellt sich die □rage nach leichtl□slichen Salzen, die eine weitere Behandlung der □läche mit Nasskompressen erfordern k□nnten --□ deshalb, wenn m□glich von dem nicht zur Mikroskopie verbrauchten Rest der Probe □uant. Analyse anfertigen lassen (Putz bis 1cm Tiefe zusätzlich verpackt)

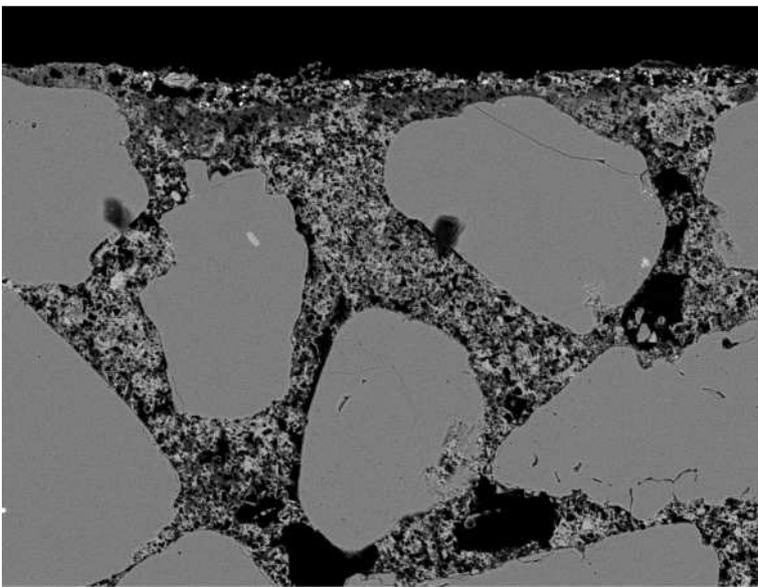
- **zu Probe 11:** wegen der guten Ergebnisse mit dem etwas größeren Material habe ich Dr. Wendler gebeten mir eine größere Menge des Chlorid-beladenen IA unter Laborbedingungen mit Carbonat zu belegen. Die Versuche mit diesem Material stehen noch aus. Sollten sich die Erfolge der ersten Versuche bestätigen, würde ich davon noch eine Probe nachreichen wollen.



Probe 11

Abb.:
Malschicht auf Putz. Kein Gips
erkennbar.

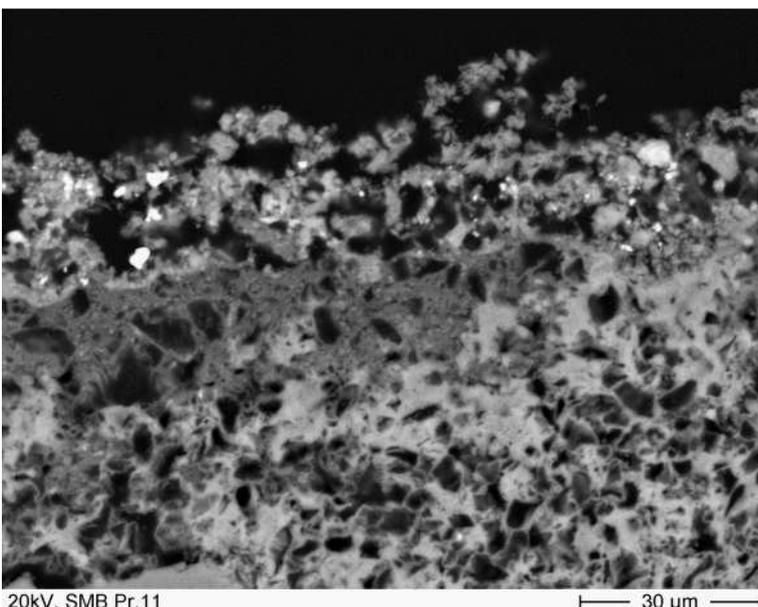
09M0396□001



Probe 11

Abb.:
zu PolMi 001.

09M0396□003



Probe 11

Abb.:
Detail aus 003□MS auf Putz.
Porosität vorhanden, weitgehend
Kalk□ Pigmente

09M0396□004

Probe 11

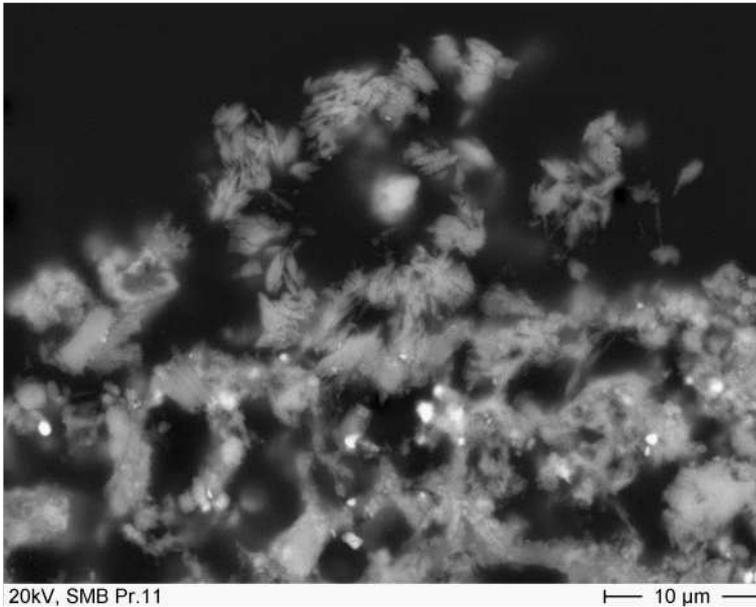


Abb.:

1. Detail aus 004 Einzelne Gipskristalle im oberen Bildteil

09M0396□005

Probe 11

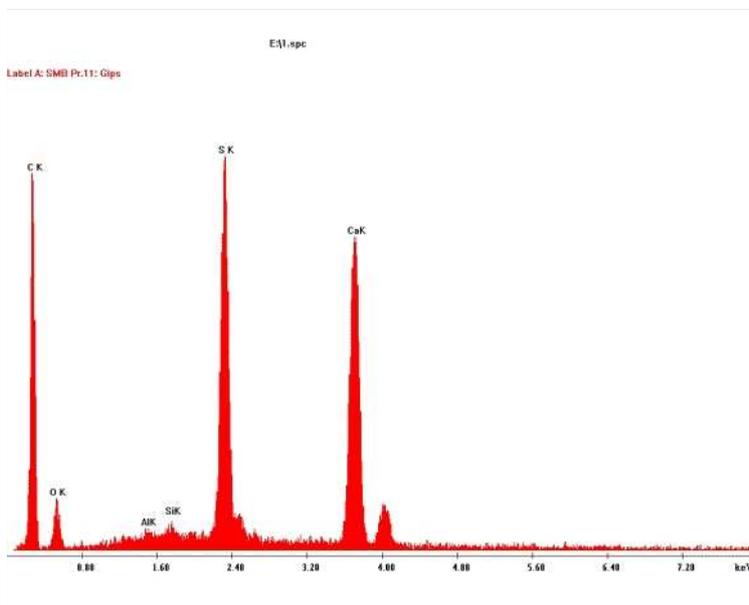


Abb.:

EDX der Gipskristalle in 005

09M0396□006

Probe 11

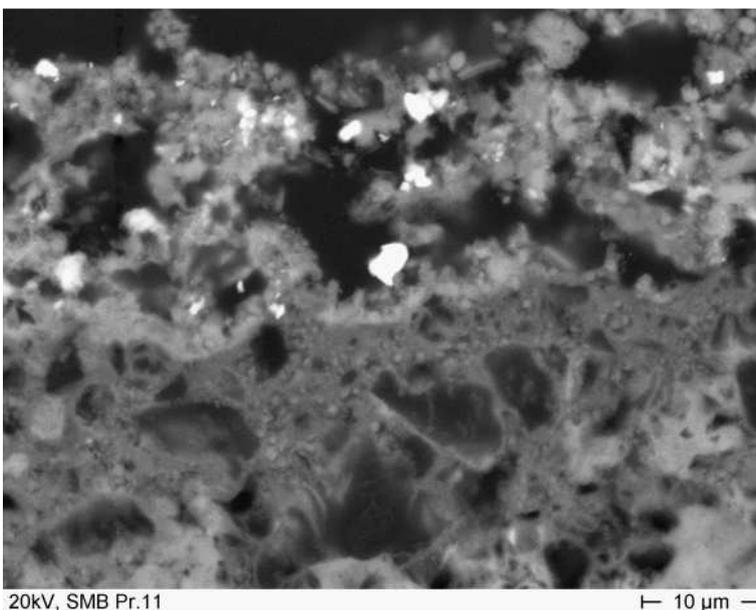
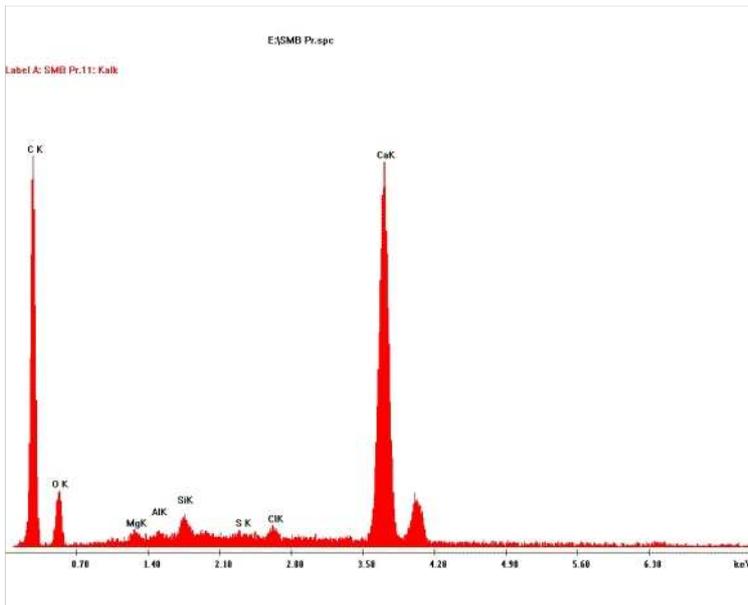


Abb.:

2. Detail aus 004. In der Malschicht ist neben den Pigmenten (roter Ocker) fast kein Gips vorhanden (nahezu vollständig in Kalk umgewandelt)

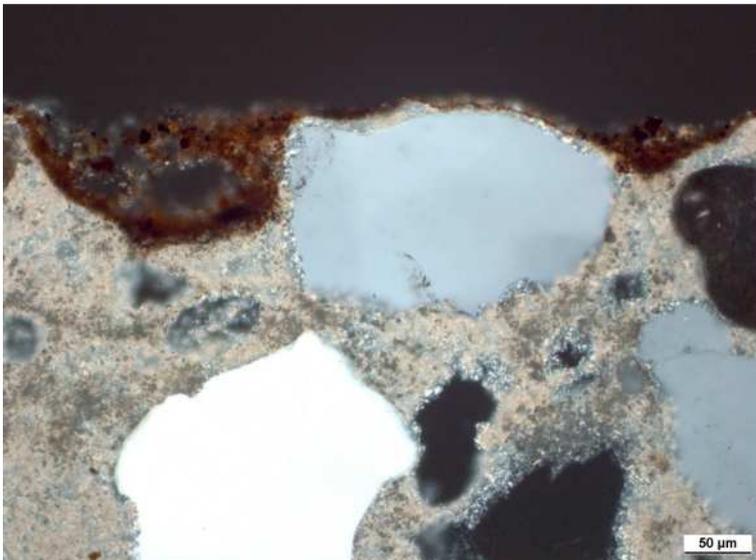
09M0396□008



Probe 11

Abb.:
EDX der dunklen Strukturen in
der unteren Bildhälfte in 008
Kalk (evtl. chloridhaltig)

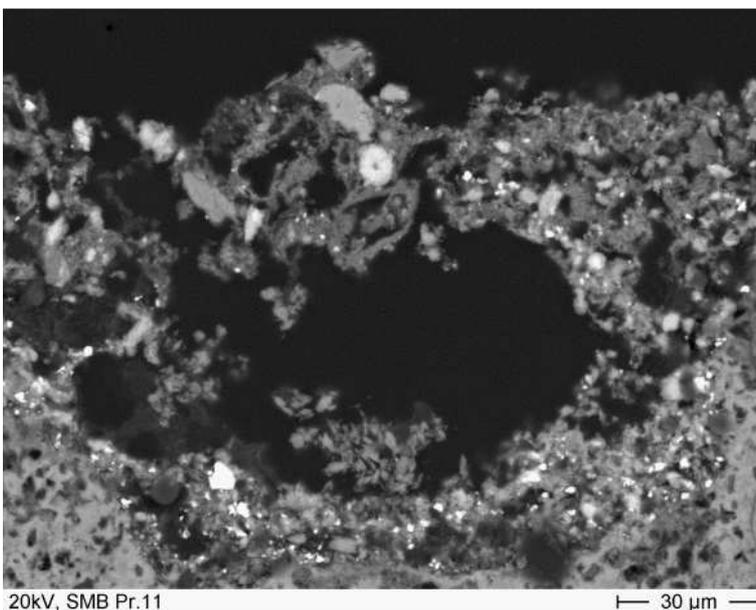
09M0396□010



Probe 11

Abb.:
Malschicht auf Putz. Kein Gips
erkennbar.

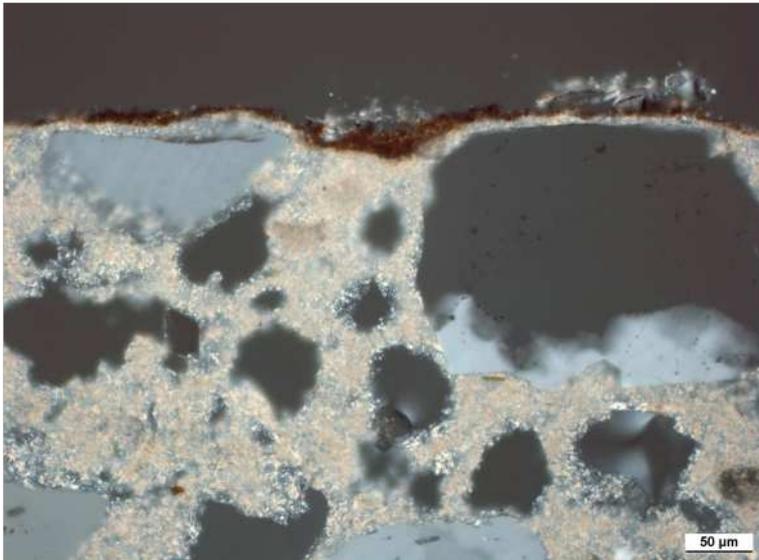
09M0396□002



Probe 11

Abb.:
Detail der MS in 002 (links neben
dem □ uarzkorn) in der REM-
Darstellung □ Pigmente □ Kalk,
sehr vereinzelt Gips

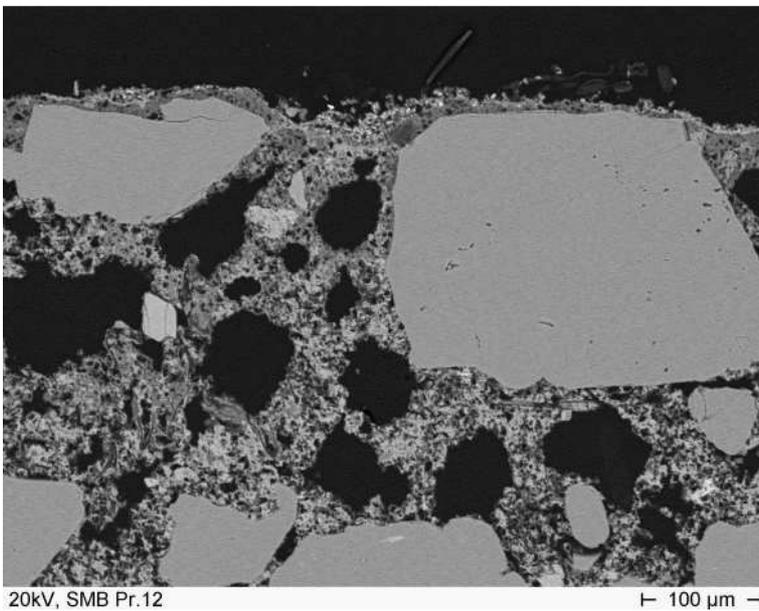
09M0396□011



Probe 12

Abb.:
Rote Malschicht auf Putz. Helle
Auflagerungen vermutlich
Kompressenreste. Kein Gips
erkennbar.

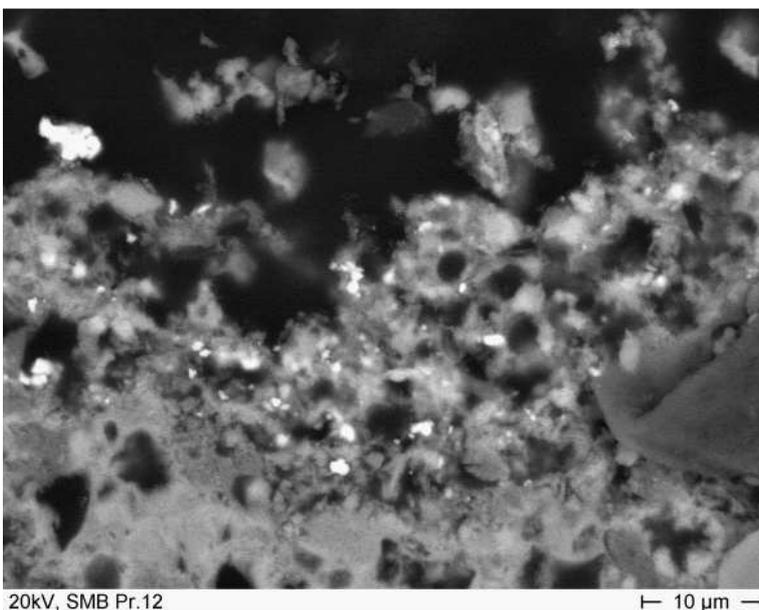
09M0397□001



Probe 12

Abb.:
zu PoIMi 001.

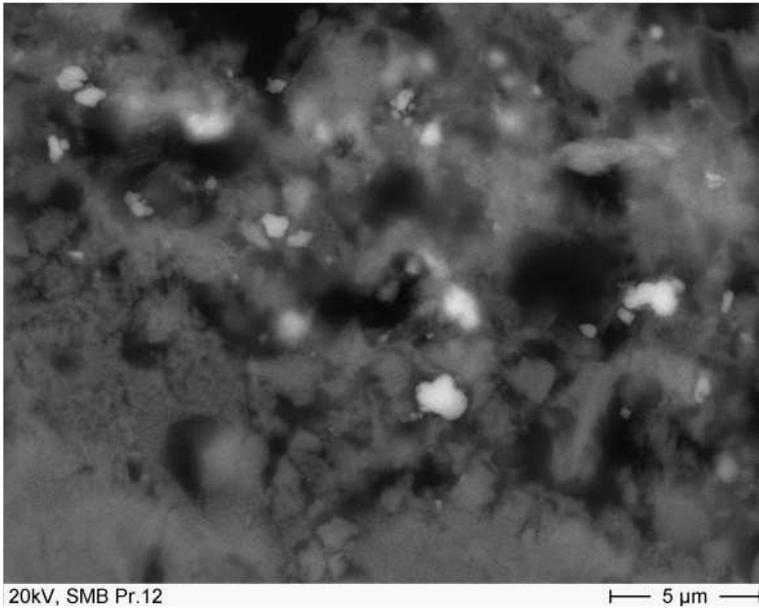
09M0397□003



Probe 12

Abb.:
Detail aus 003□MS auf Putz.
Pigmente □ Kalk. Kein Gips
nachweisbar

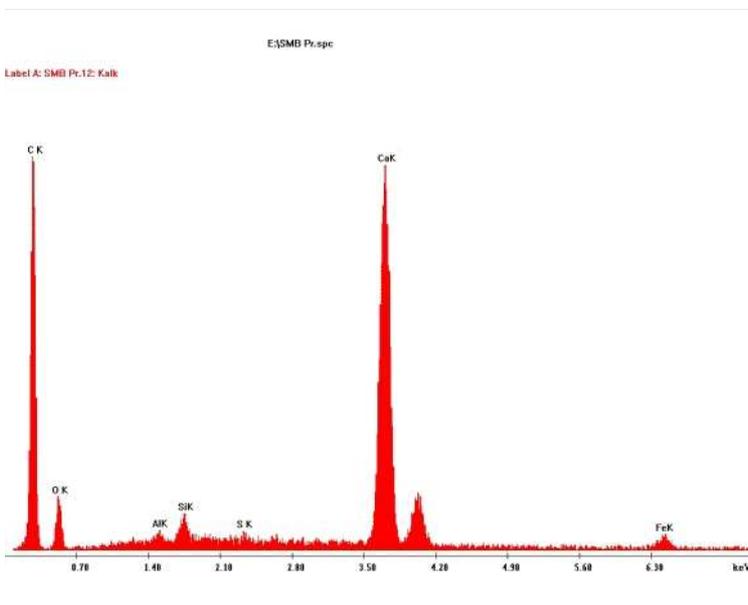
09M0397□004



Probe 12

Abb.:
Detail aus 004 Pigmente Kalk.
Kein Gips nachweisbar

09M0397005



Probe 12

Abb.:
EDX der körnigen Strukturen in
005 Kalk, Si, Al und Fe stammen
vom Rotpigment (Ocker)

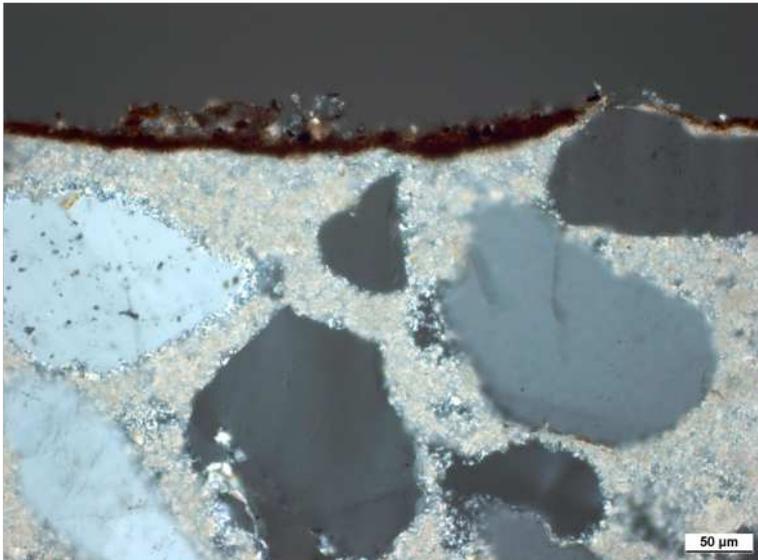
09M0397006



Probe 12

Abb.:
Rote Malschicht auf Putz. Keine
Auflagerungen vorhanden. Kein
Gips erkennbar.

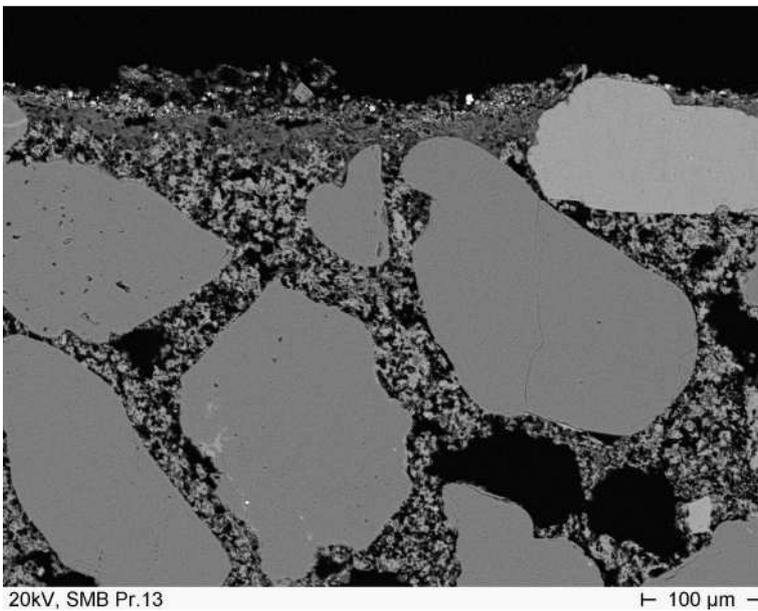
09M0397002



Probe 13

Abb.:
Rote Malschicht auf Putz. Kein Gips erkennbar.

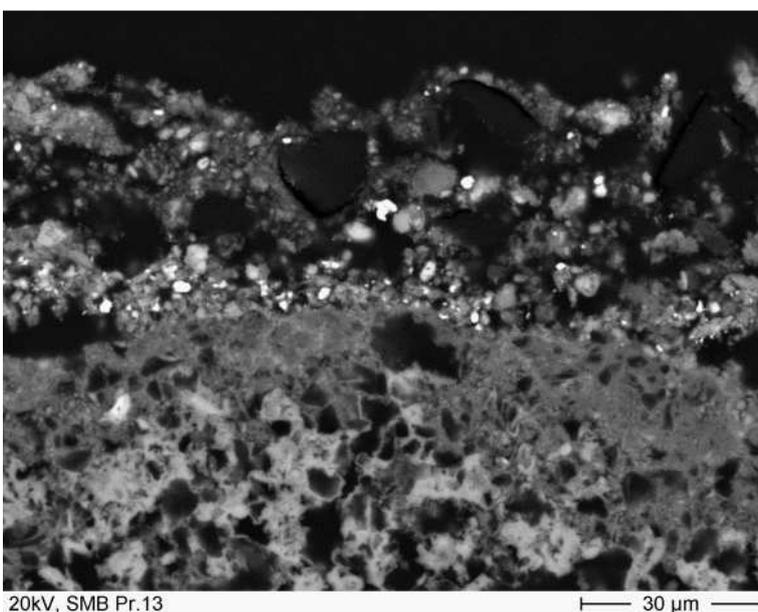
09M0398□001



Probe 13

Abb.:
zu PoIMi 001

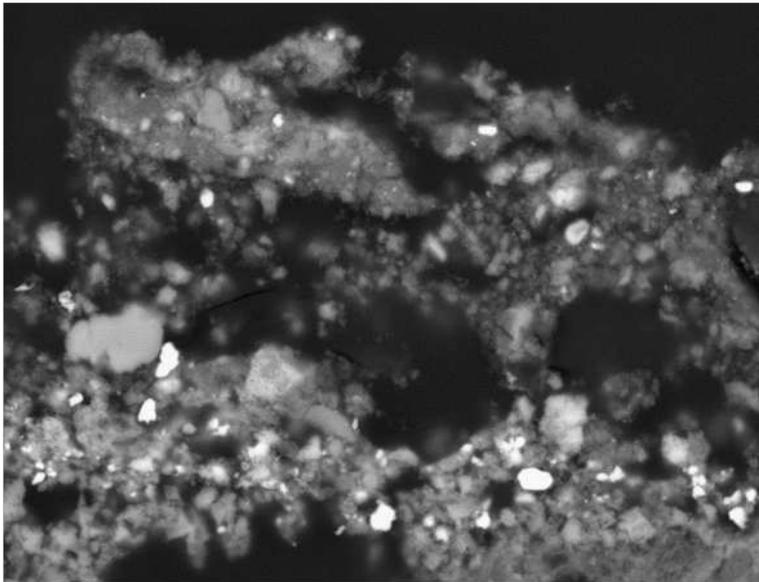
09M0398□004



Probe 13

Abb.:
Detail aus 004. Poröse, gipsfreie Malschicht auf Kalkputz. Die Sinterschicht (vgl. Pr. 14) ist etwas weniger dicht und unterscheidet sich dadurch vom übrigen Putzgefüge.

09M0398□005



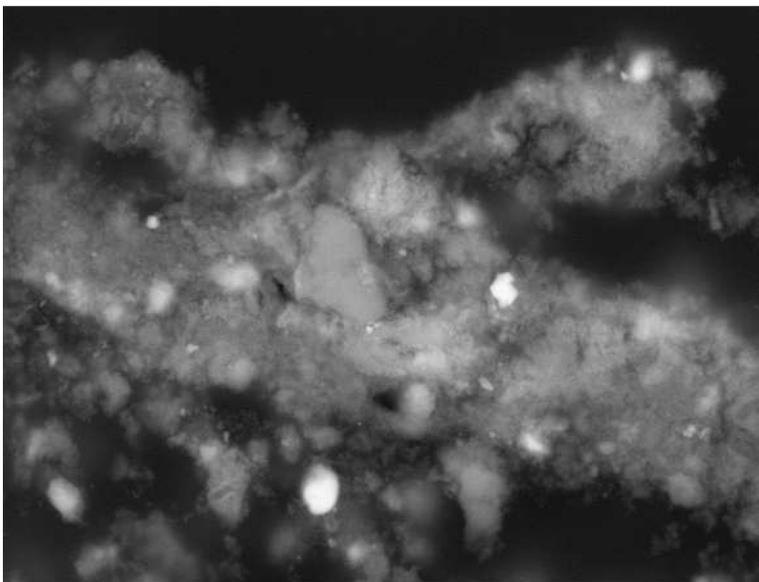
20kV, SMB Pr.13

10 µm

Probe 13

Abb.:
Detail aus 005 MS nach IA-
Behandlung

09M0398006



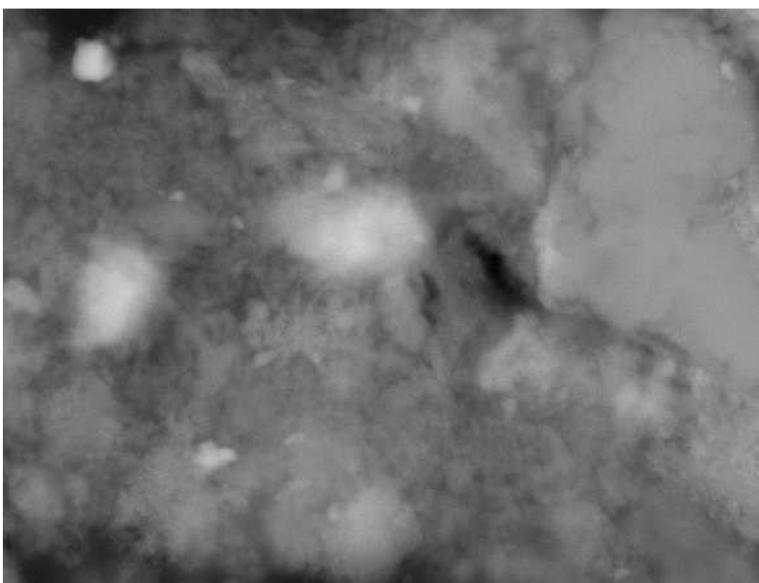
20kV, SMB Pr.13

5 µm

Probe 13

Abb.:
Detail aus 006
Ockerpigmentkörnchen und
Schwerspatkörnchen in Kalkmatrix

09M0398007



20kV, SMB Pr.13

2 µm

Probe 13

Abb.:
Detail aus 007

09M0398008

Probe 13

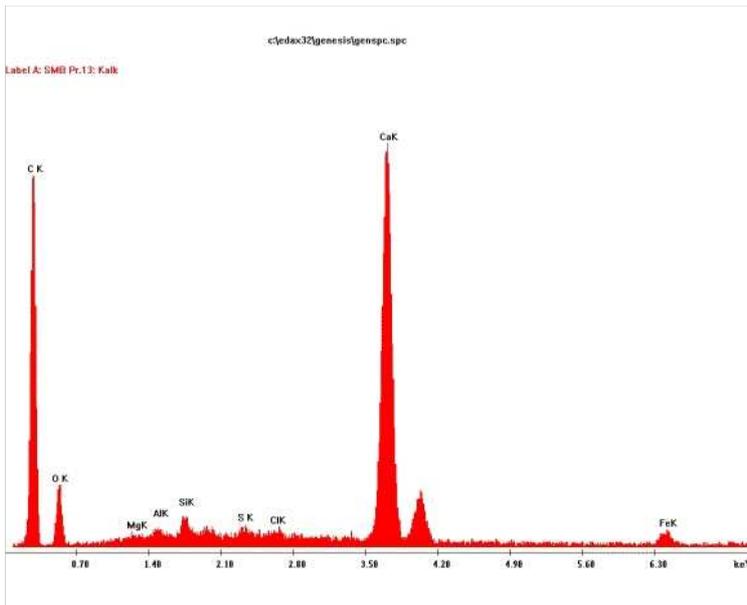


Abb.:
EDX der feinen Strukturen
zwischen den Pigmentkörnern in
008 (Matrix) Kalk Spuren des
Ockerpigmentes

09M0398009

Probe 13

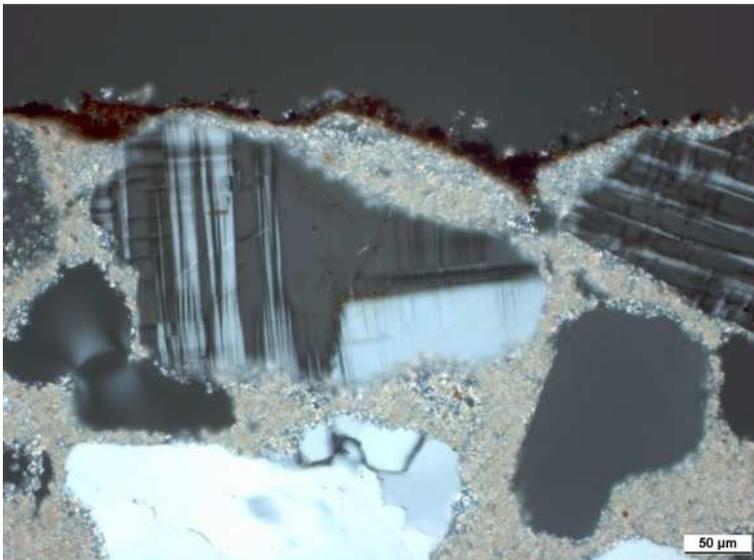


Abb.:
Rote Malschicht auf Putz. Kein
Gips erkennbar. Auf dem rechten
 Feldspatkorn evtl. Gipsrest.

09M0398002

Probe 13

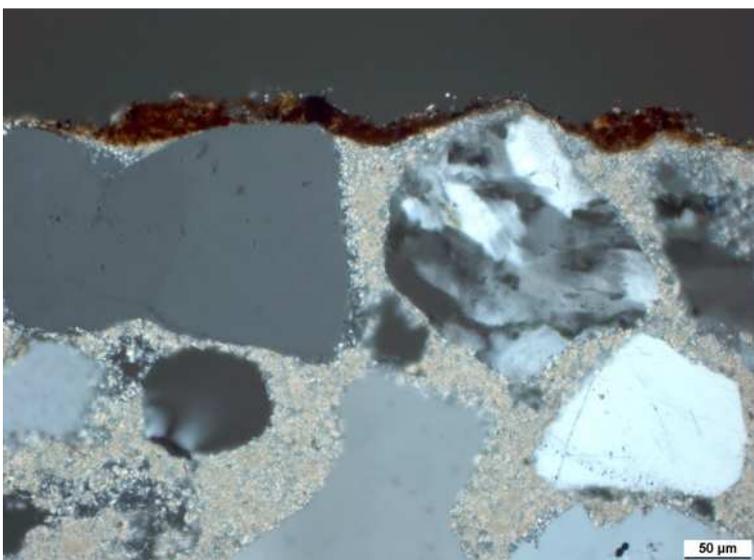
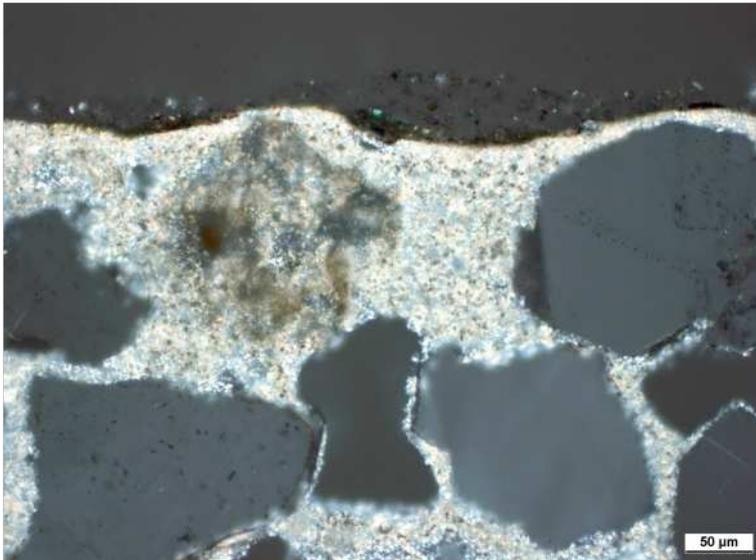


Abb.:
Rote Malschicht auf Putz. Kein
Gips erkennbar.

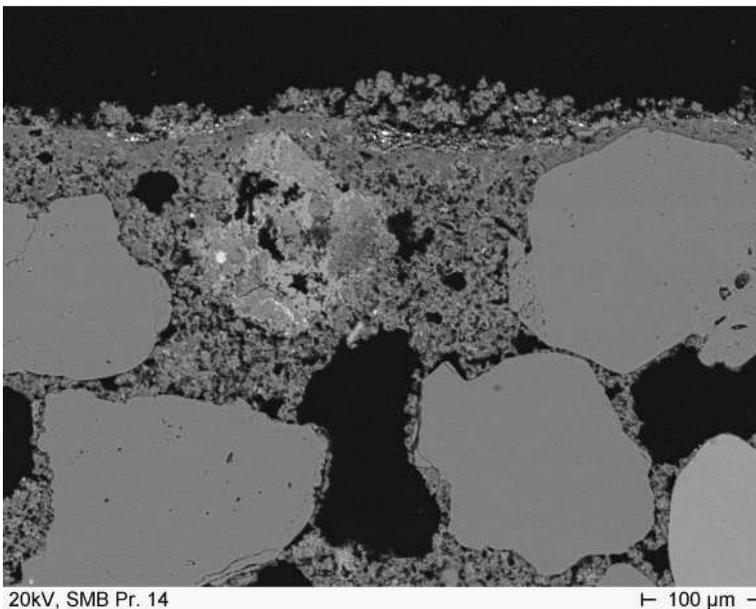
09M0398003



Probe 14

Abb.:
Grüne Malschicht mit
aufliegender, poröser
Gipsschicht

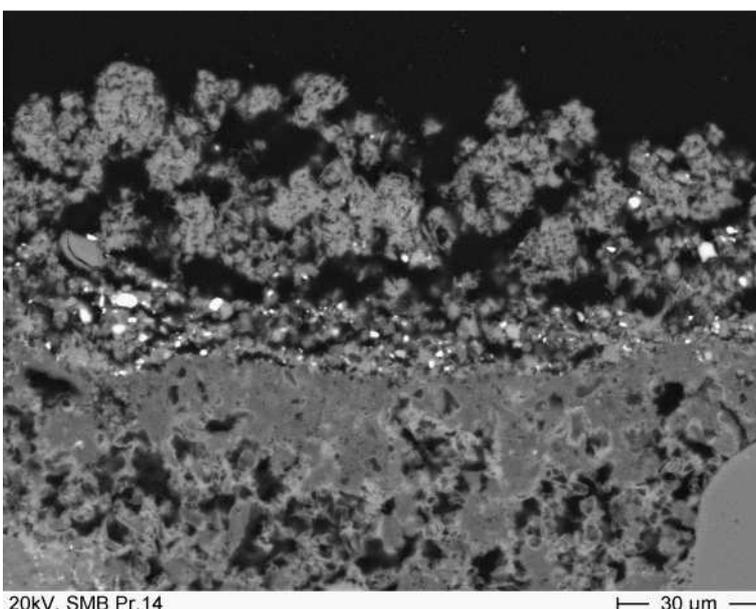
09M0399-001



Probe 14

Abb.:
zu PoIMi 001 - Keine
Veränderungen im Putz (kein
Gips, normale Porosität).
Sinterschicht auf dem Putz. Auf
dem Putz liegt eine vergipste MS
und zusätzlich eine poröse
Gipskruste

09M0399-003



Probe 14

Abb.:
Detail aus 003 - Sinterschicht am
Kalkputz. Malschicht mit
Schwerspat (helle Körner) und
aufliegender, poröser Gipskruste.

09M0399-004

Probe 14

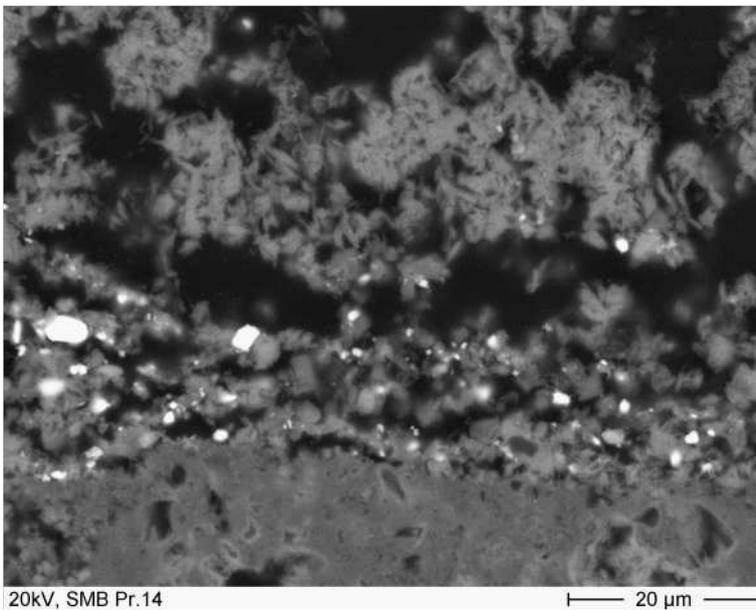


Abb.:
Detail aus 004 Die Pigmente sind von Gips umgeben. In der oberen Bildhälfte ist die auf der MS liegende poröse Gipsschicht erkennbar.

09M0399 005

Probe 14

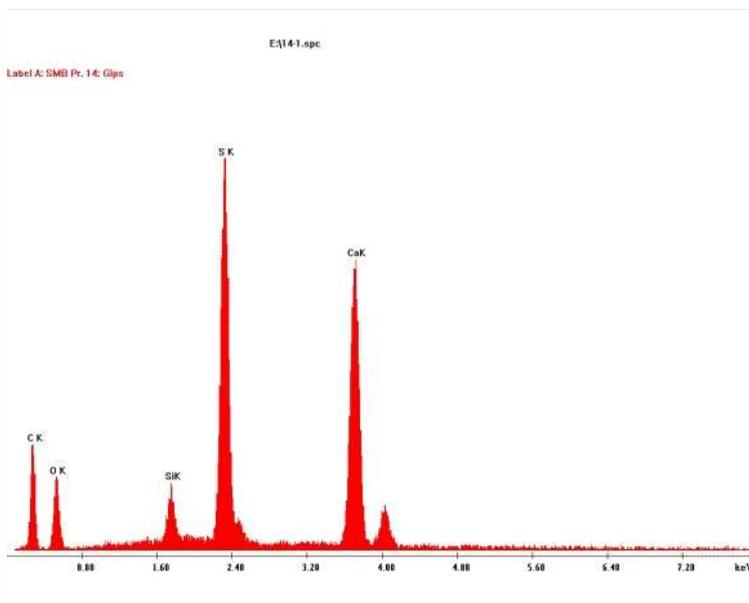


Abb.:
EDX der Gipses in 005.

09M0399 006

Probe 14

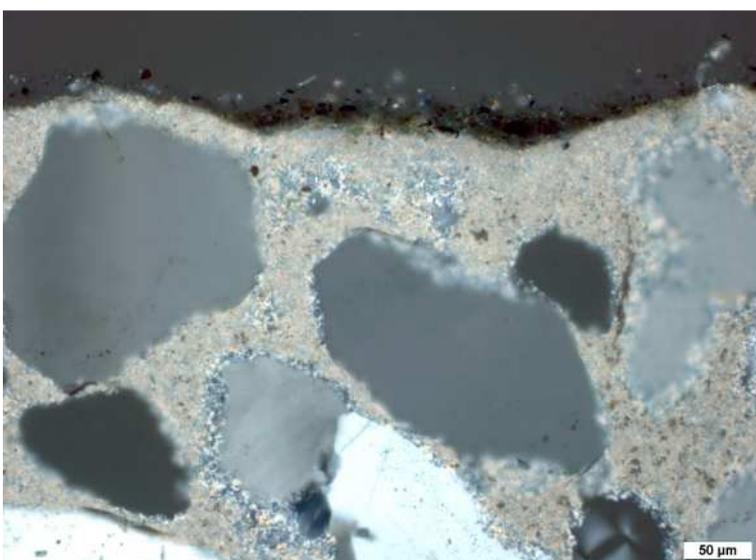
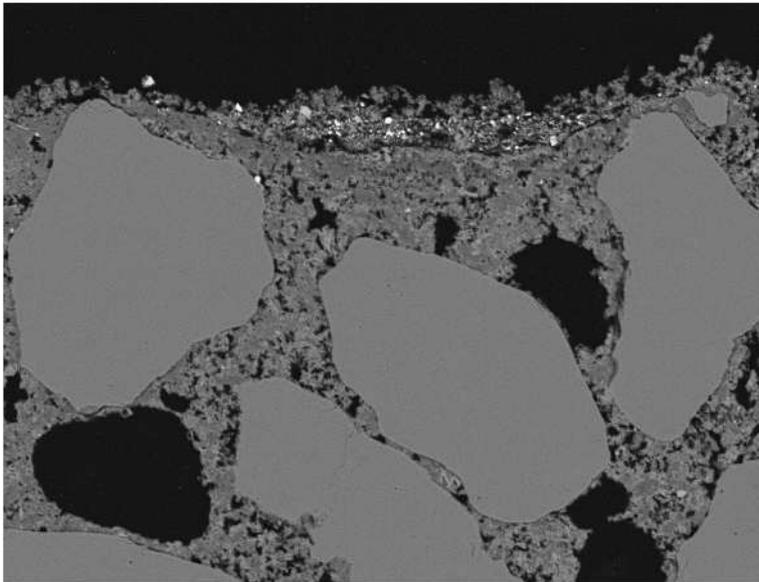


Abb.:
Grüne Malschicht mit aufliegender, poröser Gipsschicht

09M0399 002



20kV, SMB Pr.14

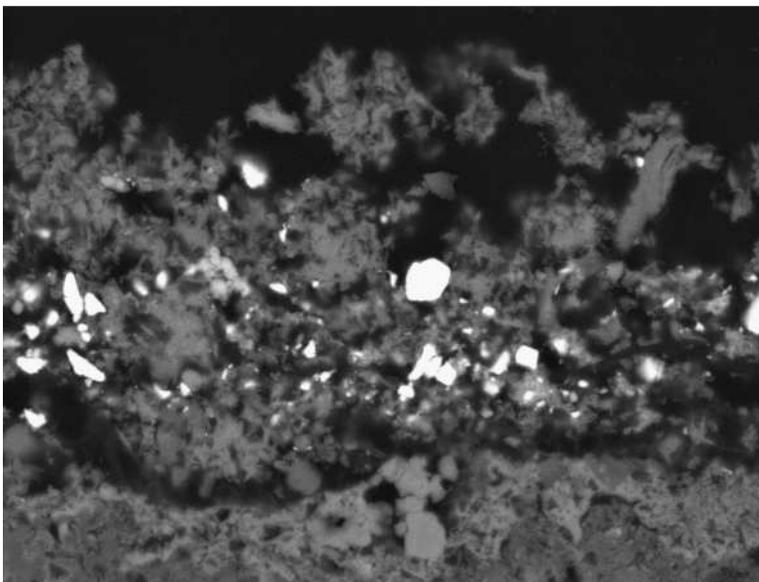
100 µm

Probe 14

Abb.:

zu PoIMi 002 Putz mit MS. Im Putz kein Gips, aber Versinterungen, außerdem Sinterschicht auf dem Putz. MS vergipst mit aufliegender poröser Gipskruste

09M0399008



20kV, SMB Pr.14

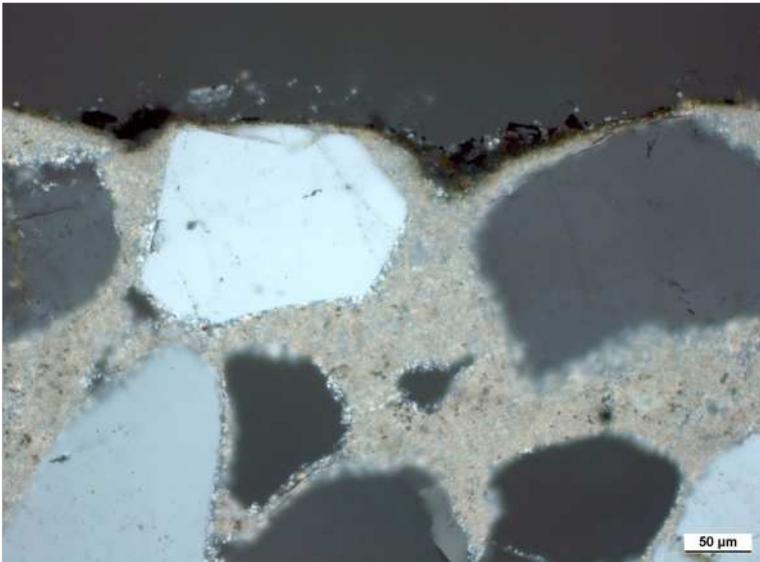
20 µm

Probe 14

Abb.:

Detail aus 008 MS mit poröser Gipskruste. Der Kalkputz ist gipsfrei. Die Pigmente sind von Gips umgeben

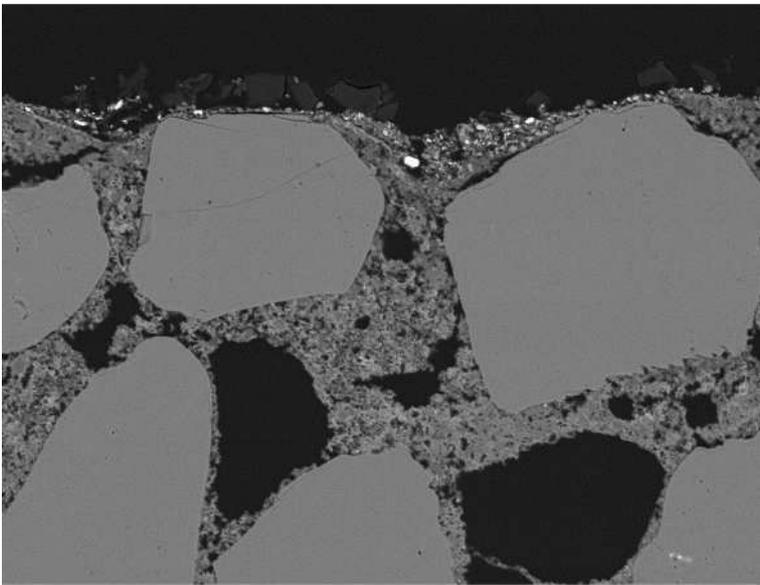
09M0399009



Probe 15

Abb.:
Grüne Malschicht auf Putz. evtl.
Gipsreste

09M0400□001

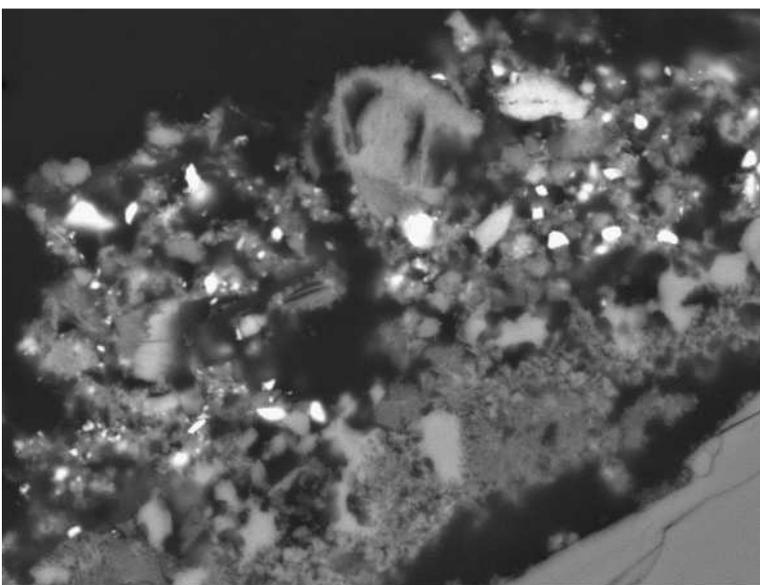


Probe 15

Abb.:
zu PolMi 001

20kV, SMB Pr.15 100 μm

09M0400□004

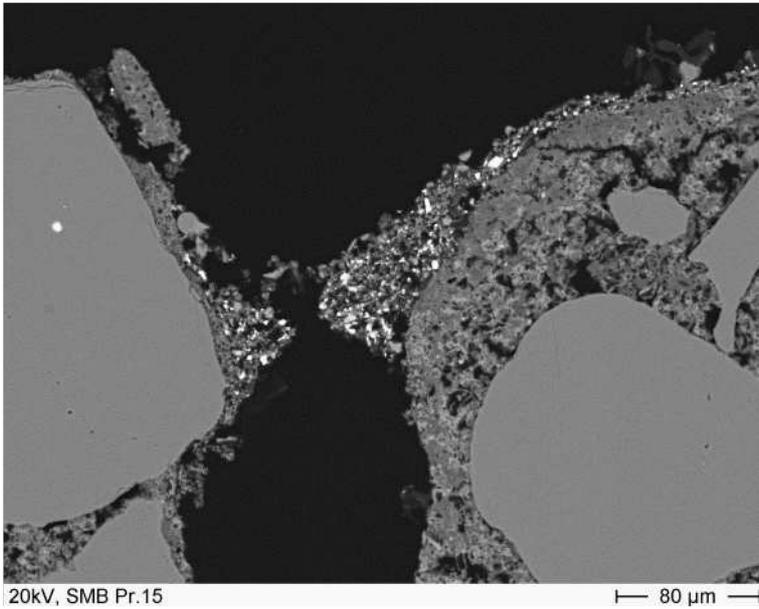


Probe 15

Abb.:
Detail aus004□MS nach IA-
Behandlung. Pigmente □ Kalk

20kV, SMB Pr.15 10 μm

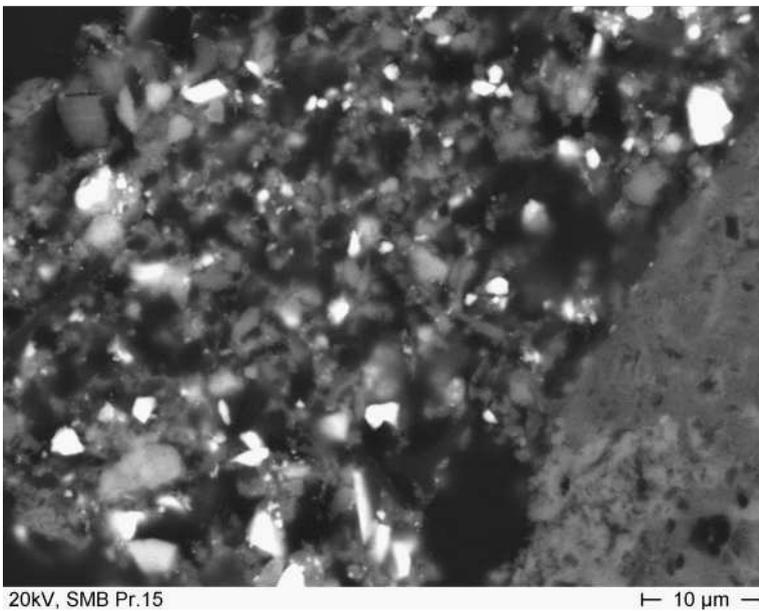
09M0400□005



Probe 15

Abb.:
Detail aus PoIMi 002 in der REM-RE-Abbildung

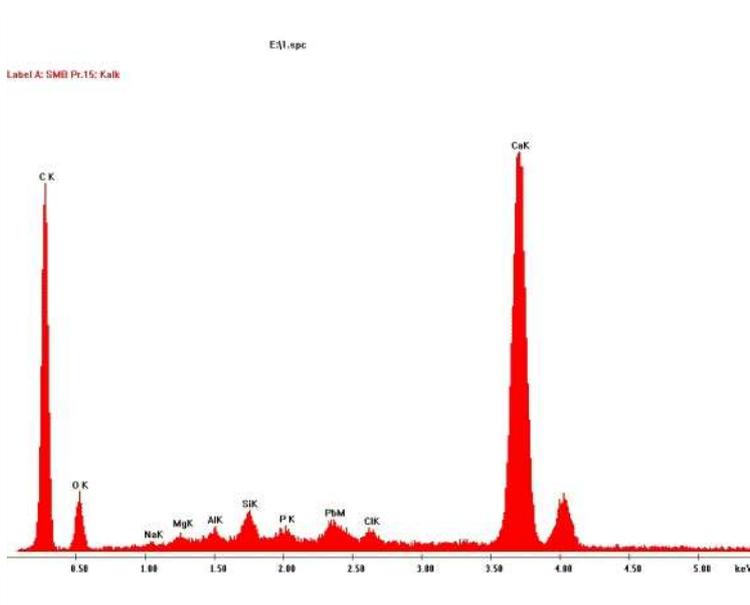
09M0400□006



Probe 15

Abb.:
Detail aus 006□MS nach IA-Behandlung. Pigmente □ Kalk

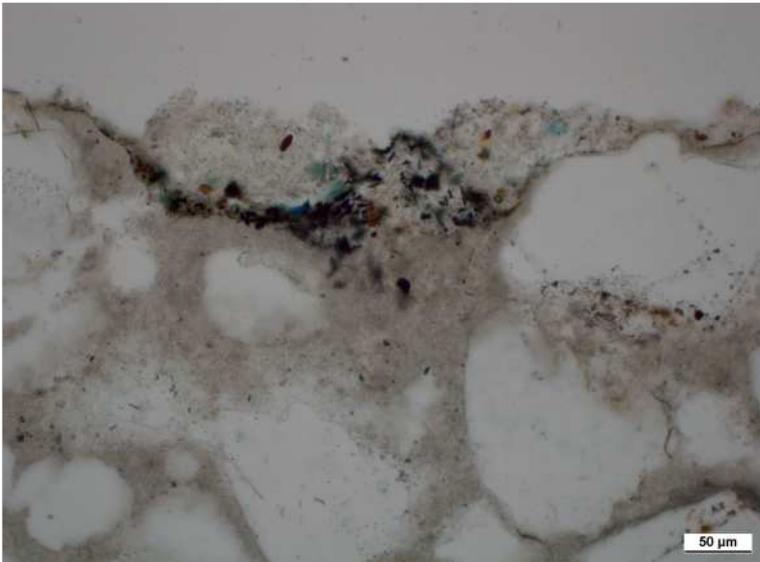
09M0400□007



Probe 15

Abb.:
EDX der Kalkbestandteile (Matrix zwischen den Pigmenten)

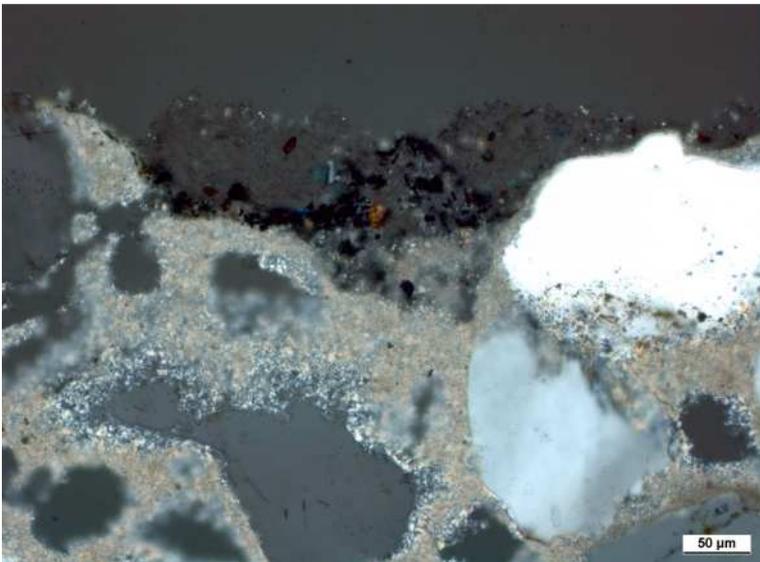
09M0400□008



Probe 16

Abb.:
Reste der Malschicht mit
Auflagerungen

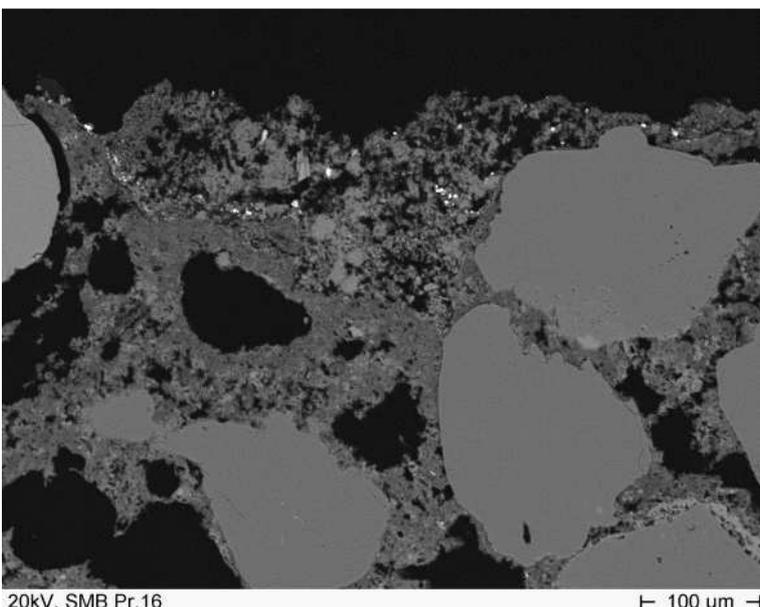
09M0401□001



Probe 16

Abb.:
Reste der Malschicht mit
Auflagerungen

09M0401□002



Probe 16

Abb.:
zu PolMi 001/002□Stark
vergipste Malschicht auf Putz

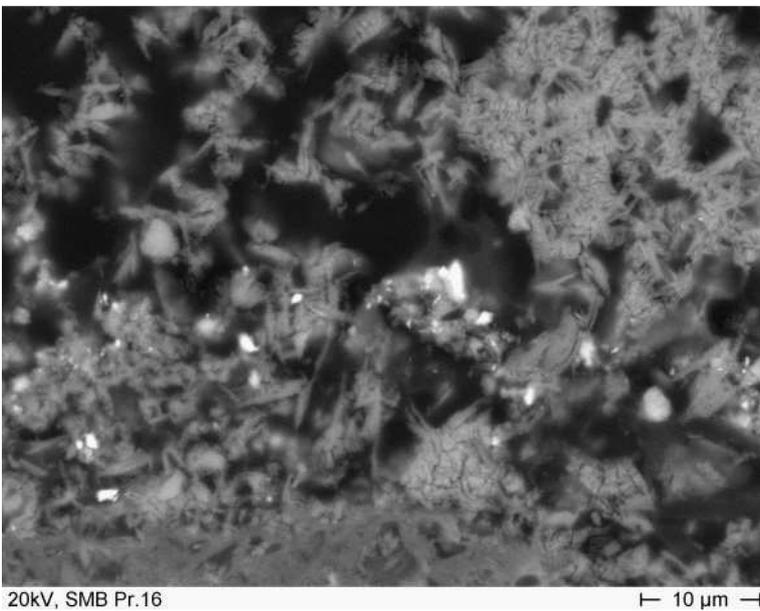
09M0401□004



Probe 16

Abb.:
Detail aus 004 – Stark vergipste
Malschicht auf Putz

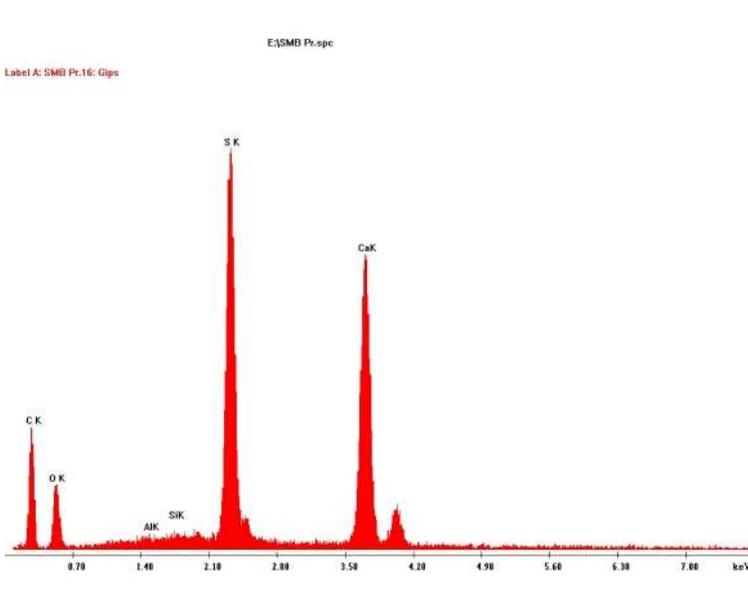
09M0401 – 005



Probe 16

Abb.:
Detail aus 005 – Stark vergipste
Malschicht auf Putz. Am linken
Bildrand Kalk zwischen den
Pigmenten (vermutlich primär)

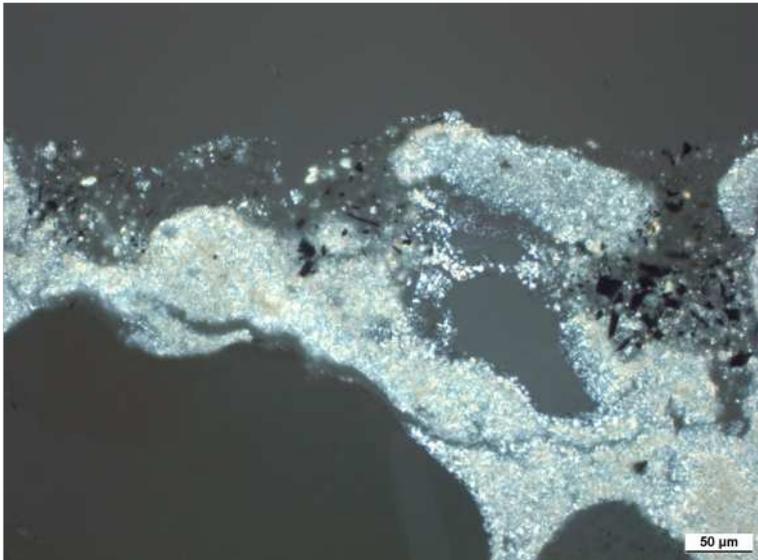
09M0401 – 006



Probe 16

Abb.:
EDX des Gipses in 006 (obere
rechte Bildecke)

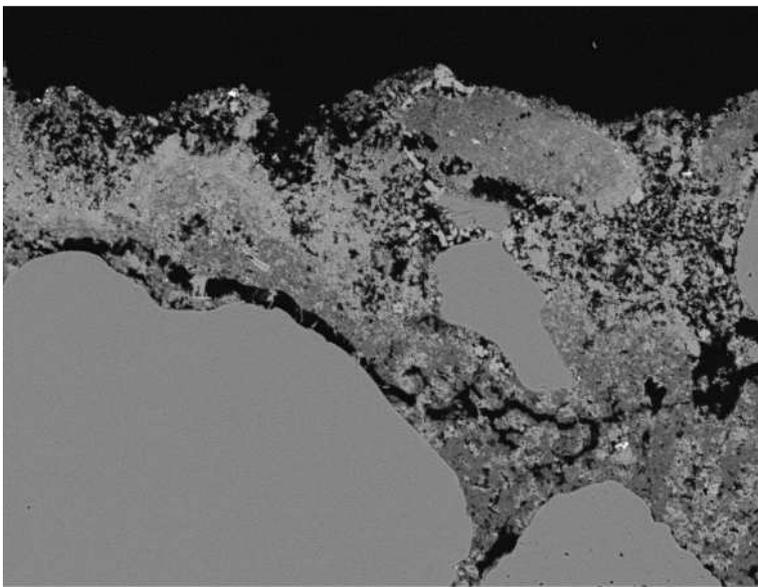
09M0401 – 007



Probe 17

Abb.:
Detail aus 001 □ Malschichtrelikte
(Grünpigmente und
Pflanzenschwarz) in
oberflächlichen Vertiefungen.
Pigmente vermutlich von Gips
umschlossen

09M0402 □ 004



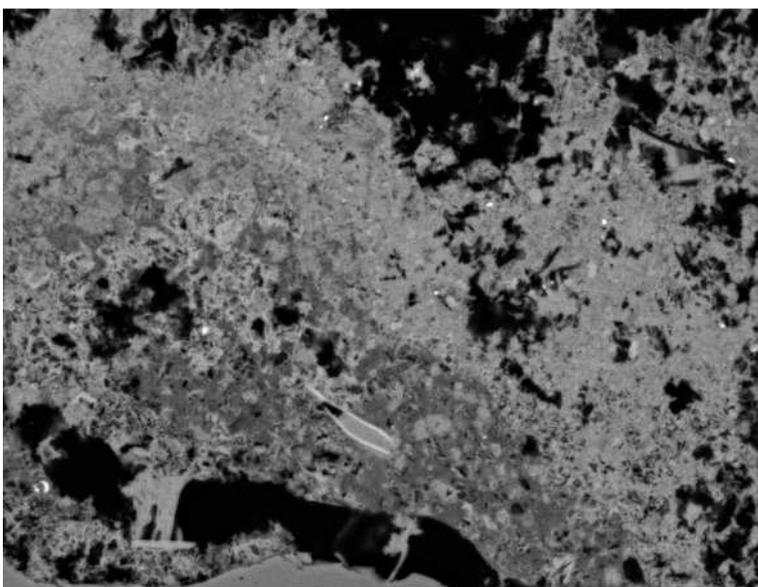
Probe 17

Abb.:
zu PoIMi 002-004 □ Stark vergipste
Malschicht auf Putz

20kV, SMB Pr.17

100 µm

09M0402 □ 006



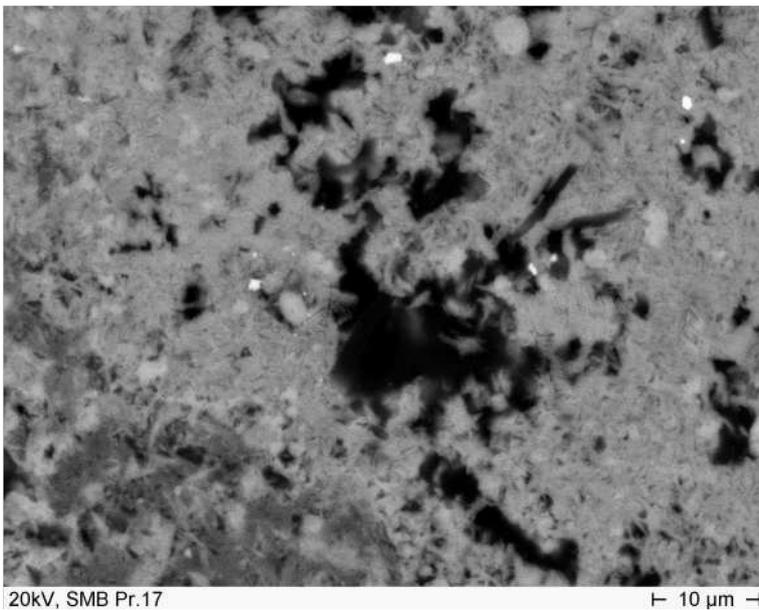
Probe 17

Abb.:
Detail aus 006 □ Stark vergipste
Malschicht. Die dunkleren
Bereiche in der unteren Bildhälfte
sind Kalk (Putz)

20kV, SMB Pr.17

40 µm

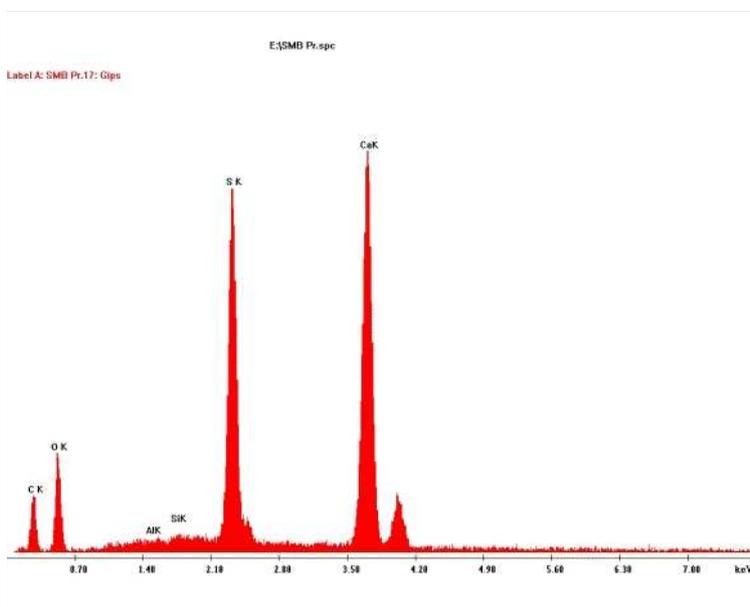
09M0402 □ 007



Probe 17

Abb.:
Detail aus 007. Sehr dichte
Vergipsung

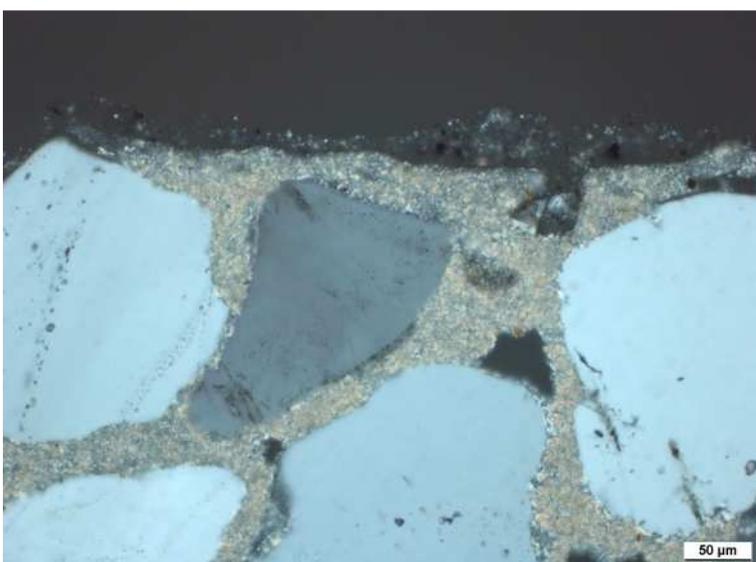
09M0402□008



Probe 17

Abb.:
EDX des Gipses in 008

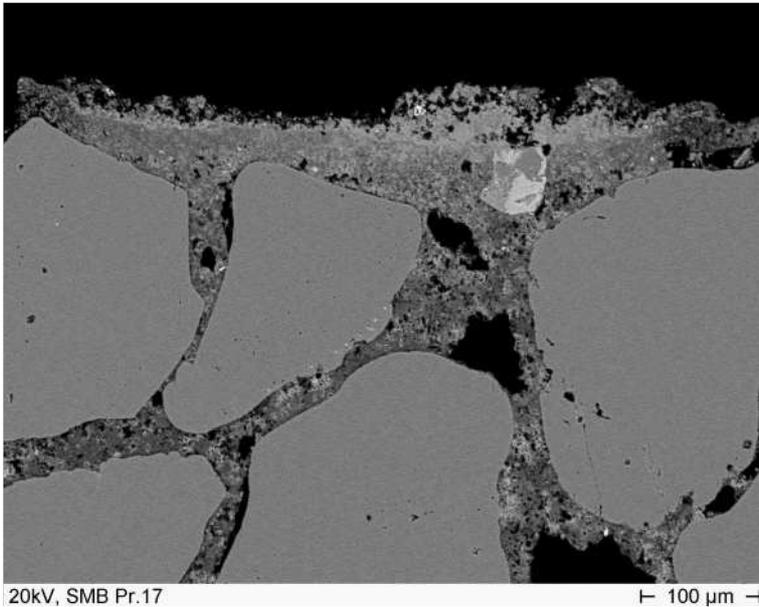
09M0402□009



Probe 17

Abb.:
Gips auf Putzoberfläche.

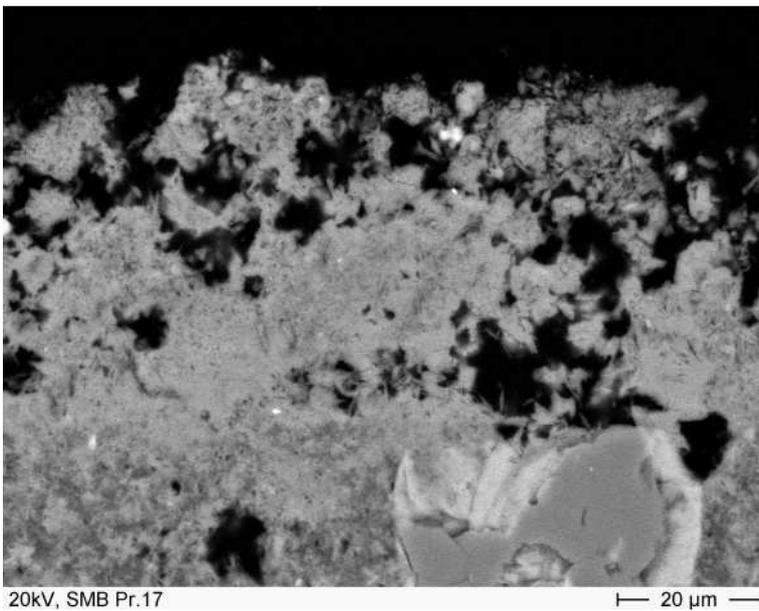
09M0402□005



Probe 17

Abb.:
zu PoIMi 005 – Stark vergipster
Malschichtrest auf versintertem
Putz

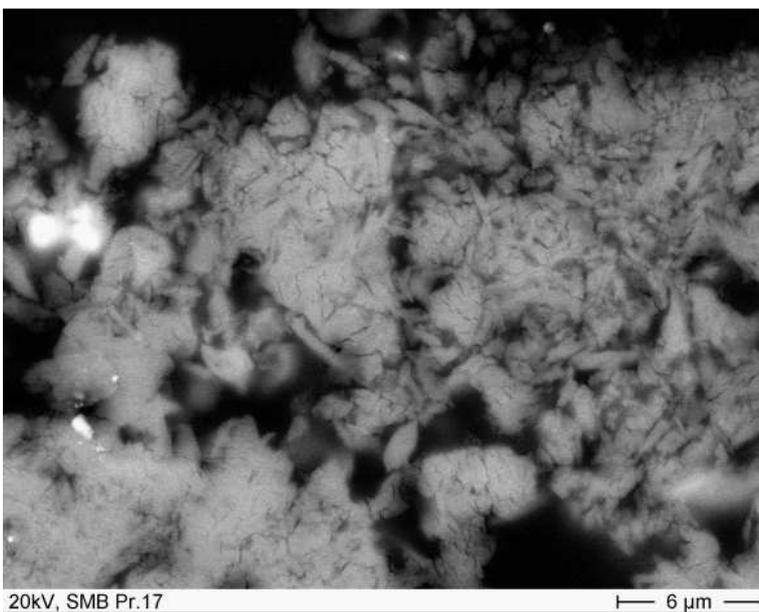
09M0402-011



Probe 17

Abb.:
Detail aus 011 – Stark vergipster
Malschichtrest auf versintertem
Putz

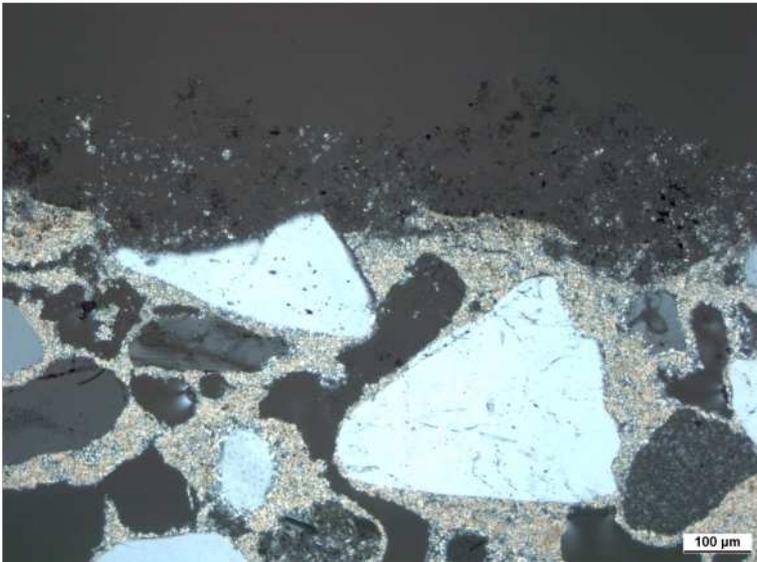
09M0402-012



Probe 17

Abb.:
Detail aus dem oberen
Bildbereich in 012 – Vergipsung
bei höherer Vergrößerung

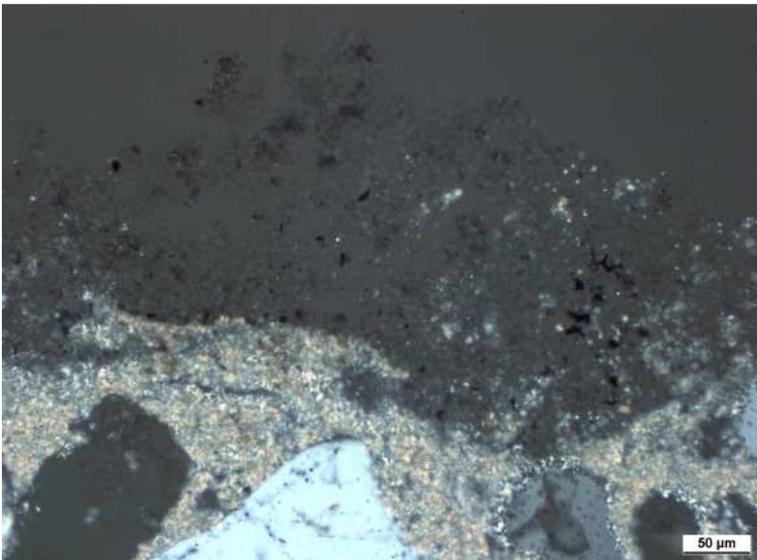
09M0402-013



Probe 18

Abb.:
Putz mit poröser
Gipsauflagerung. Im rechten Teil
Pflanzenschwarz innerhalb der
Gipsschicht.

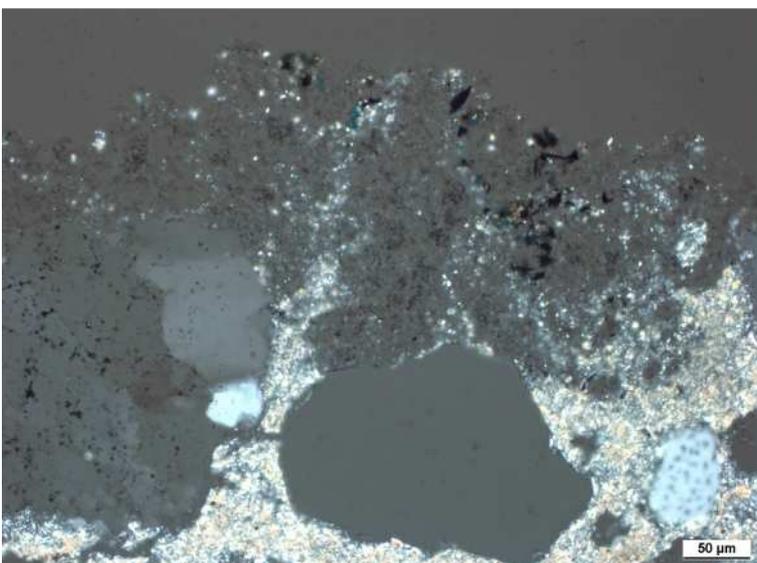
09M0403□001



Probe 18

Abb.:
Detail aus 001□ Putz mit poröser
Gipsauflagerung. Grünpigment
und Pflanzenschwarz innerhalb
der Gipsschicht.

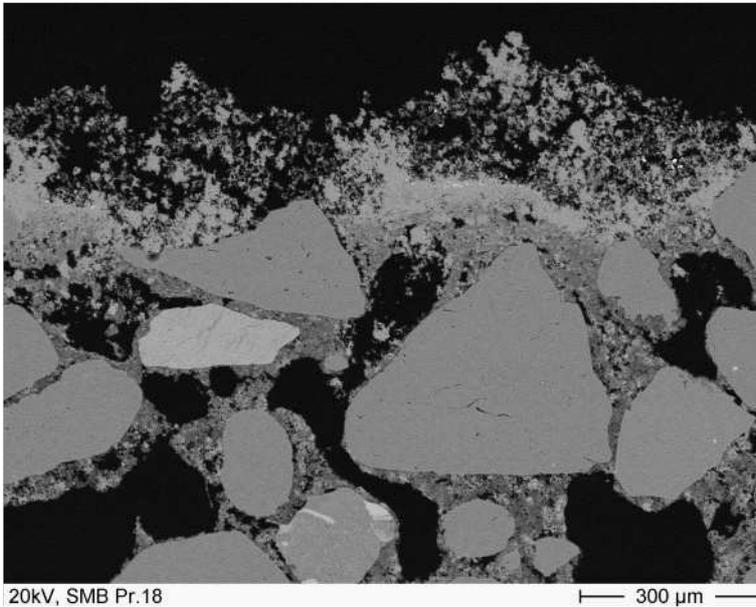
09M0403□003



Probe 18

Abb.:
Putz mit poröser
Gipsauflagerung. Grüne und
blaue Pigmentkörnchen sowie
Pflanzenschwarz innerhalb der
Gipsschicht.

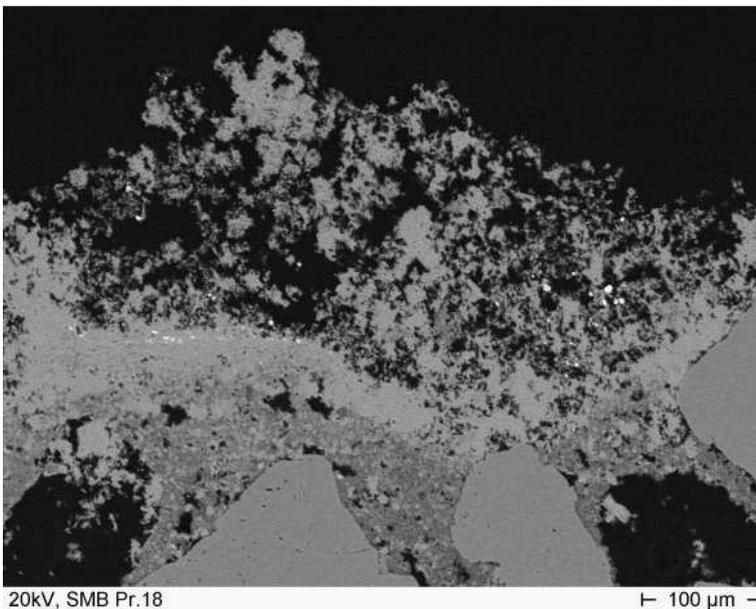
09M0403□005



Probe 18

Abb.:
zu PolMi 001. Putz mit vergipster
Malschicht und poröser
Gipskruste

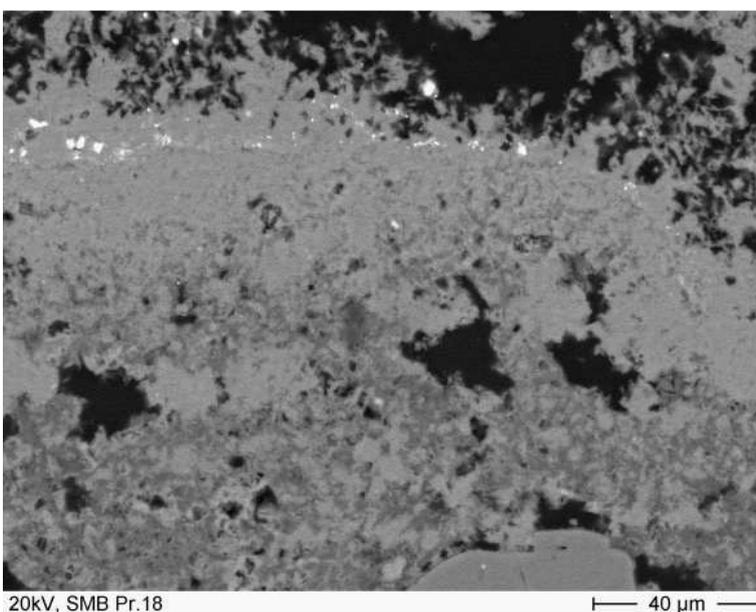
09M0403-006



Probe 18

Abb.:
Detail aus 006 (zu PolMi
002/003) - Dichte Vergipsung auf
dem Putz mit eingeschlossenen
Schwerspatkörnern, aufliegende
poröse Gipskruste

09M0403-007



Probe 18

Abb.:
1. Detail aus 007 - Dichte
Gipsschicht im Bereich der MS.
Schwerspatkörnern (hell) in
Gipsschicht eingebunden.
Grenze zum Putz nicht
erkennbar. Die hellgrauen
Bereiche sind der Gips, die
dunkelgrauen Bereiche in der
unteren Bildhälfte sind der Kalk

09M0403-008

Probe 18

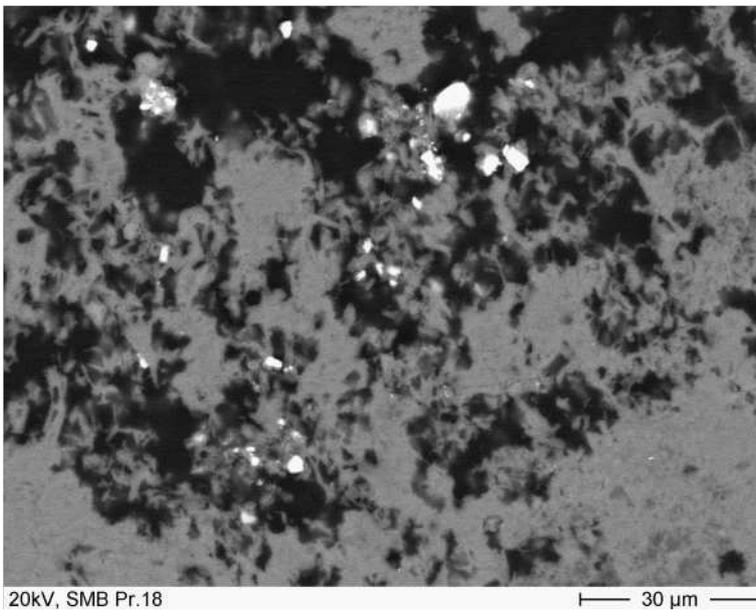


Abb.:
2. Detail aus 007 Poröse aufliegende Gipsschicht mit Schwerspatkristallen

09M0403009

Probe 18

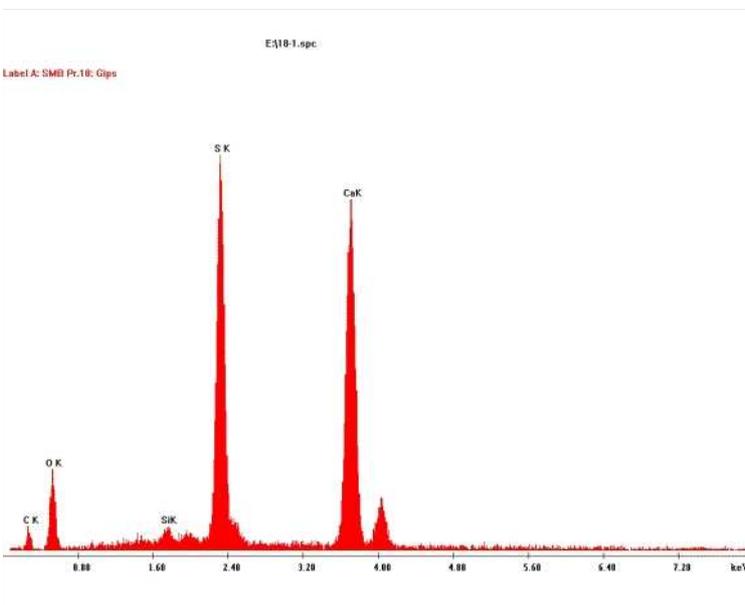


Abb.:
EDX des Gipses in 008 und 009

09M0403010

Probe 18

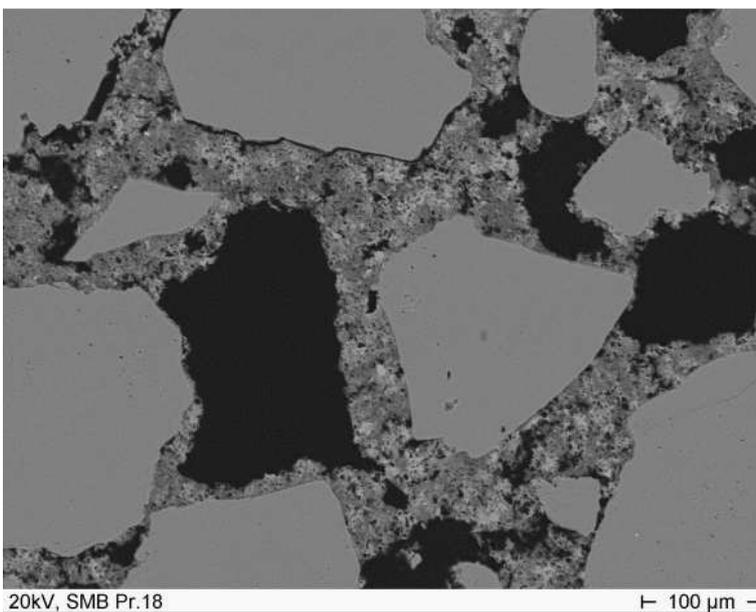
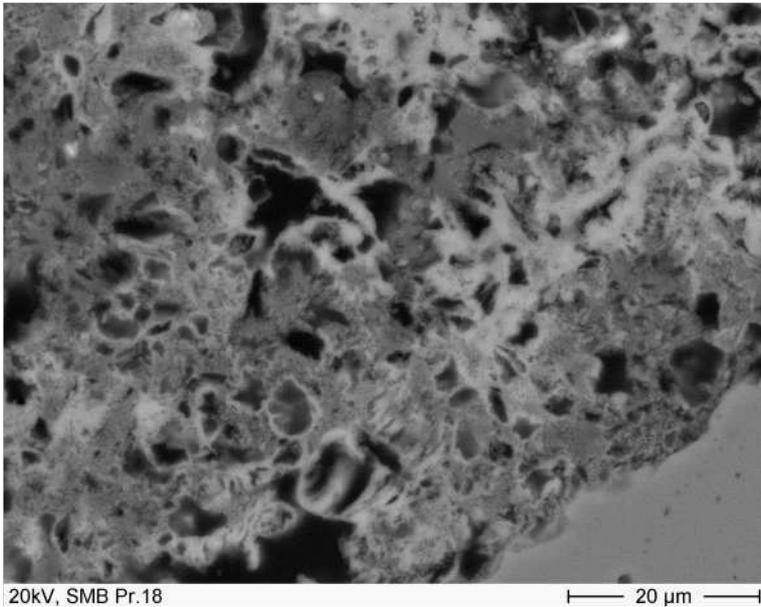


Abb.:
Versinterungen im Putz unterhalb der MS. Übersicht zu 013 und 014.

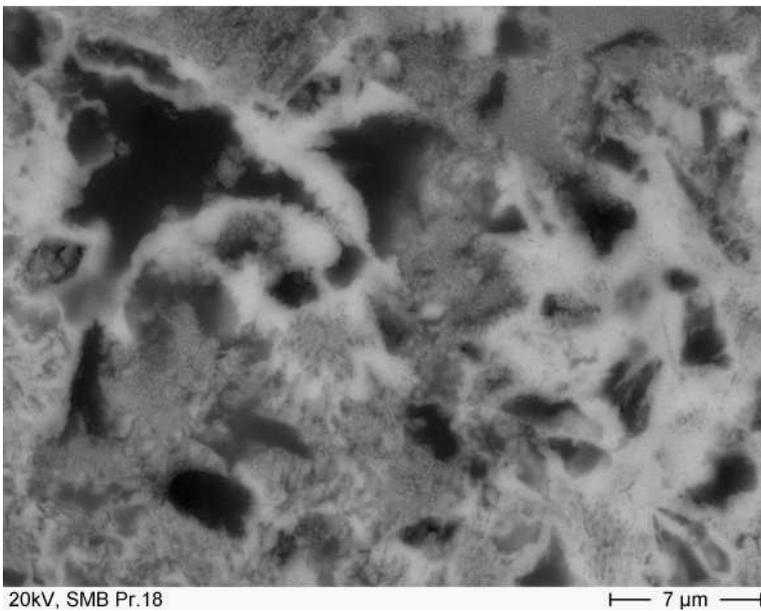
09M0403012



Probe 18

Abb.:
Detail aus 012 □ Deutliche
Versinterungen im Putz (kein
Gips □)

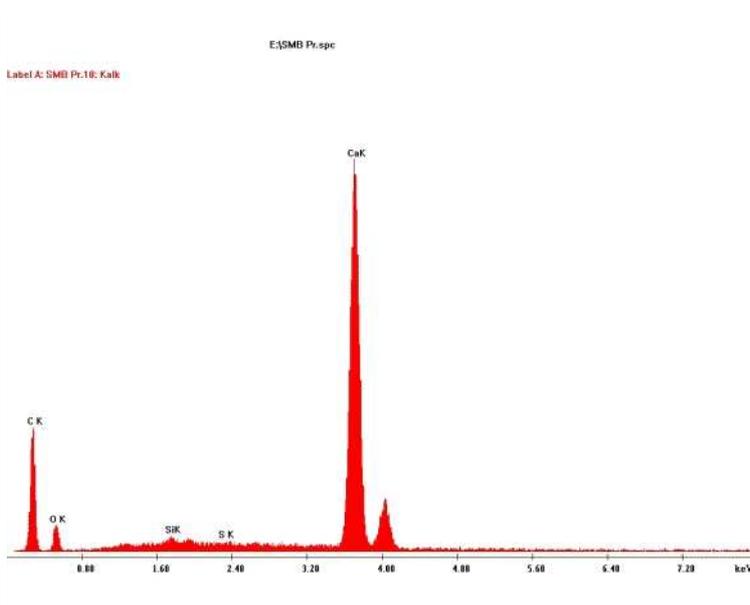
09M0403 □ 013



Probe 18

Abb.:
Detail aus 013 □ Versinterung im
Putz

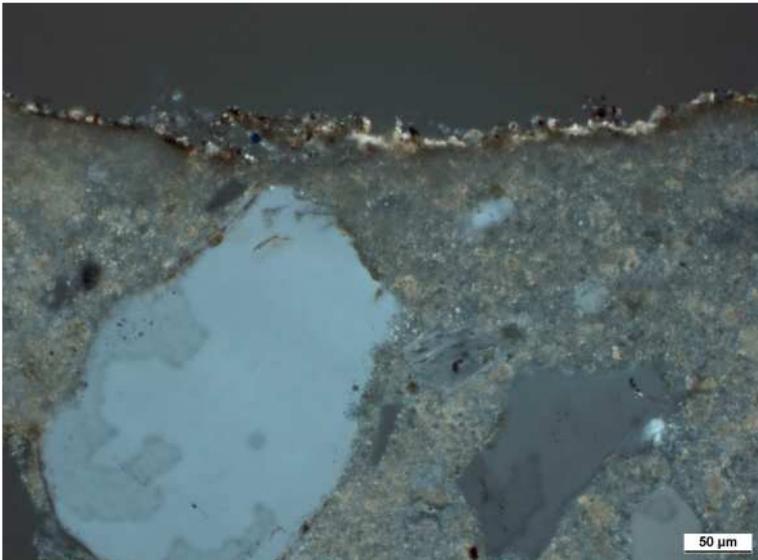
09M0403 □ 014



Probe 18

Abb.:
EDX der Versinterungen in 014

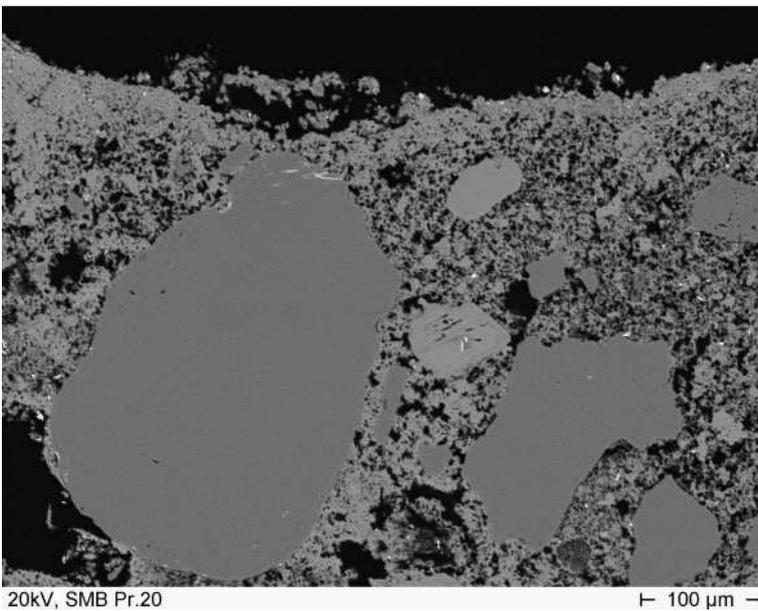
09M0403 □ 015



Probe 20

Abb.:
Putz mit dünner brauner
Malschicht und Kalksinterschicht

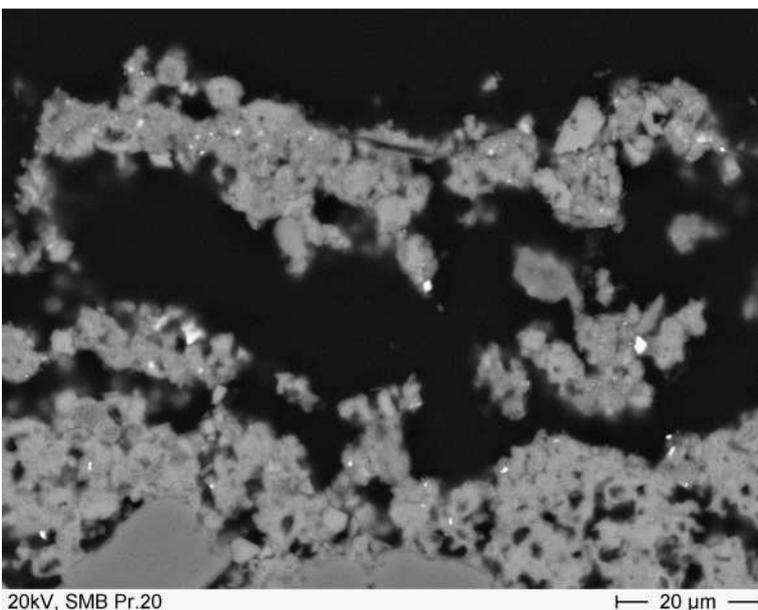
09M0404□002



Probe 20

Abb.:
zu PoIMi 002□Malschichtreste
und Auflagerungen auf
versinterter Putzoberfläche

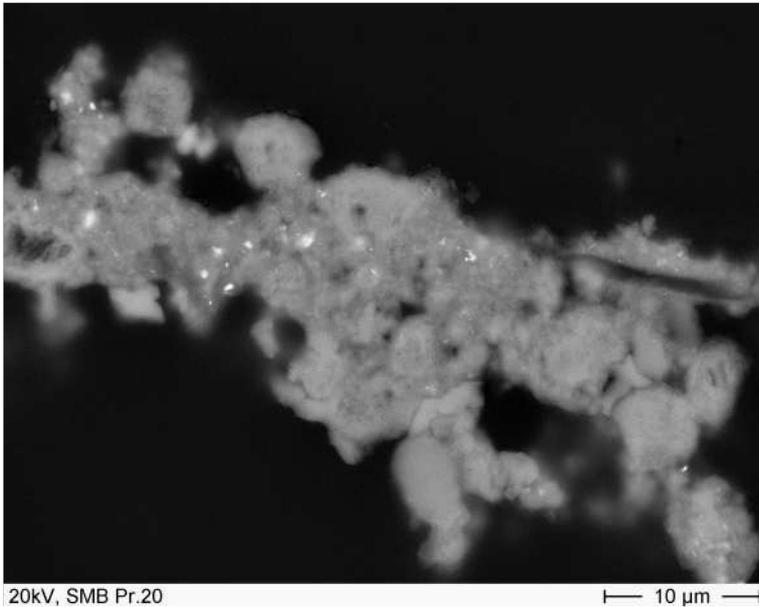
09M0404□003



Probe 20

Abb.:
1. Detail aus 003□Kalk mit Silikat
und eingeschlossenen
Pigmenten (kein Gips)

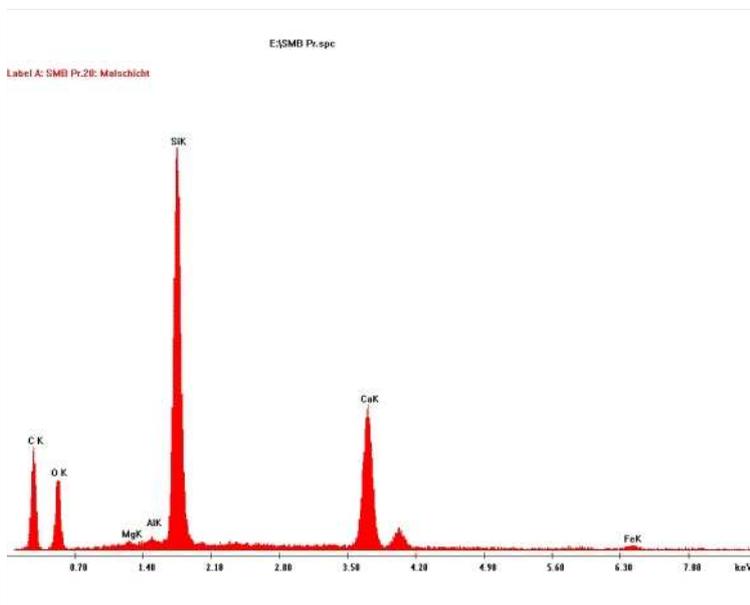
09M0404□004



Probe 20

Abb.:
Detail aus 004 Kalk mit Silikat
und eingeschlossenen
Pigmenten (kein Gips)

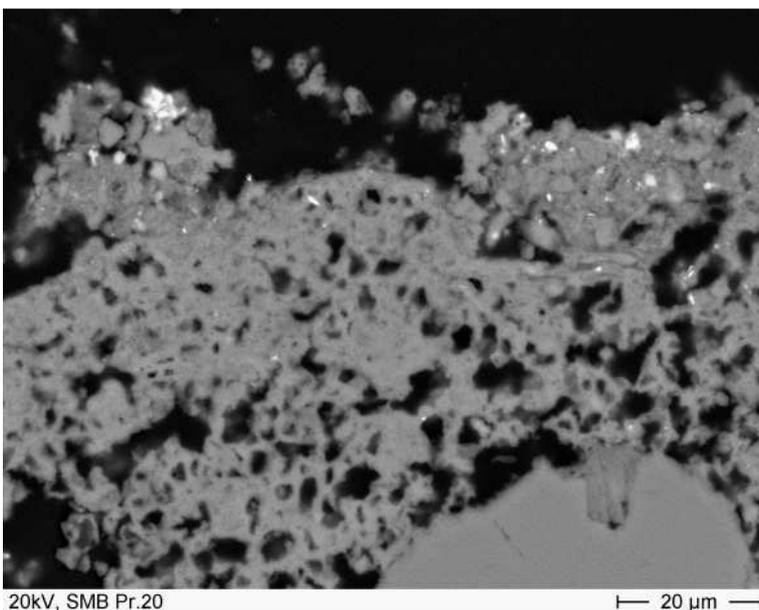
09M0404 005



Probe 20

Abb.:
EDX der Matrix um die Pigmente
in 005 Silikat und Kalk

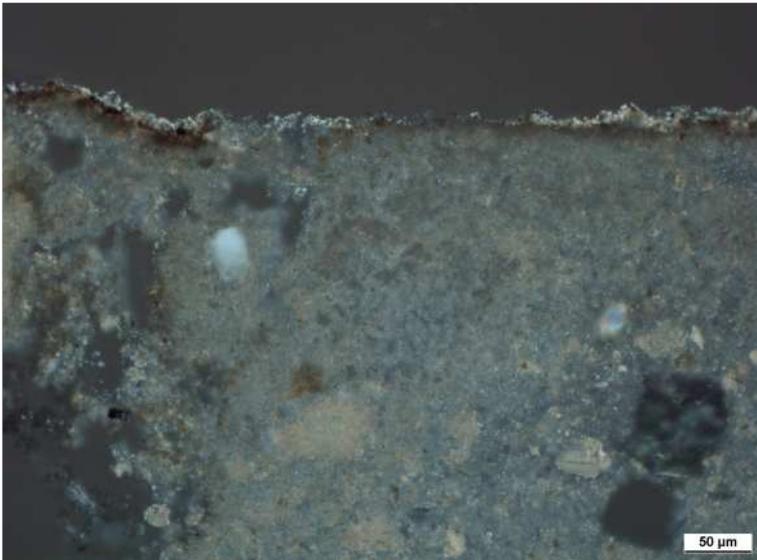
09M0404 006



Probe 20

Abb.:
2. Detail aus 003 Versinterte
Putzaußenseite mit
Pigmenteinschlüssen (kein Gips)

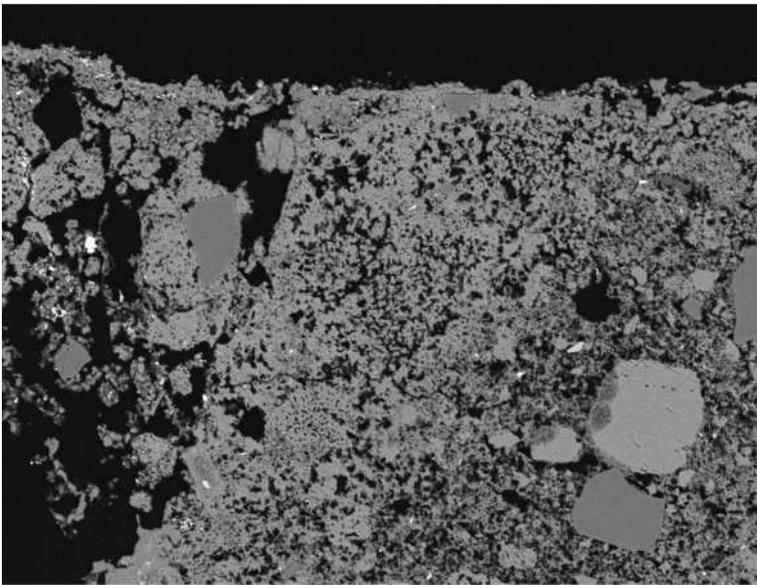
09M0404 008



Probe 20

Abb.:
Putz mit dünner brauner
Malschicht und Kalksinterschicht

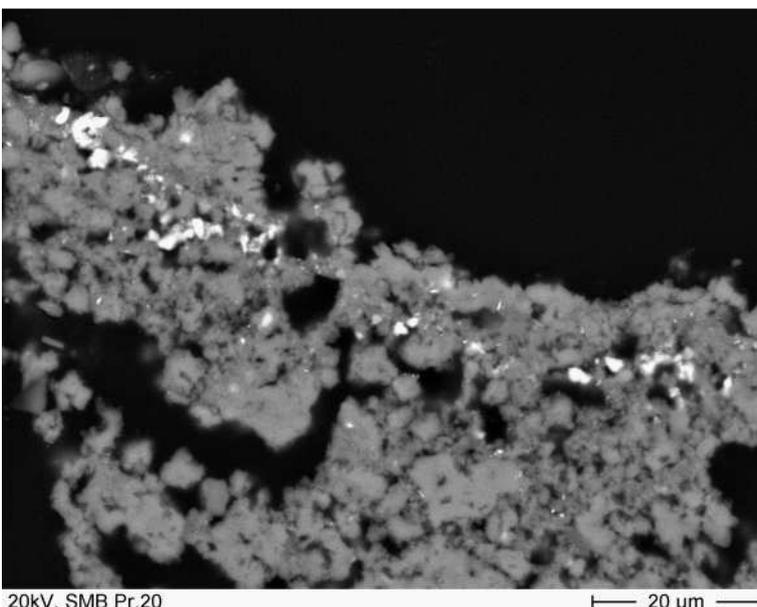
09M0404□001



Probe 20

Abb.:
zu PoIMi 001 □ Malschicht auf
versintertem Putz

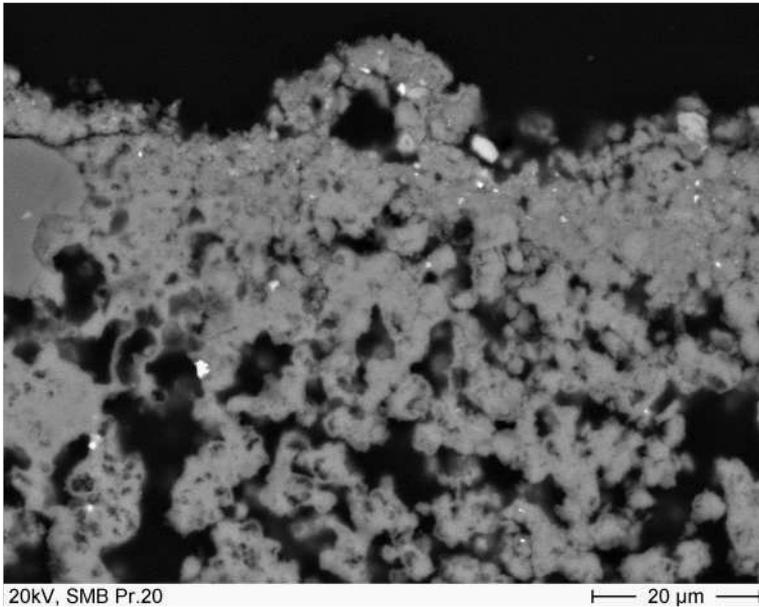
09M0404□009



Probe 20

Abb.:
Detail aus 009 □ Malschicht auf
versintertem Putz (kein Gips).
abgebildter Bereich silikathaltig

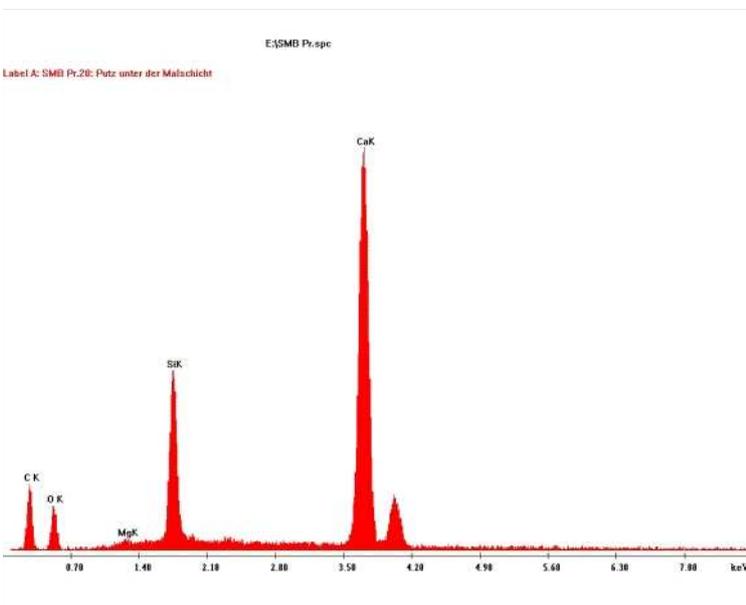
09M0404□010



Probe 20

Abb.:
 2. Detail aus 009 □ Versinterte
 Putzoberfläche (im PolMi 001
 hoch doppelbrechend).
 Sinterschicht und Putz stark
 silikathaltig

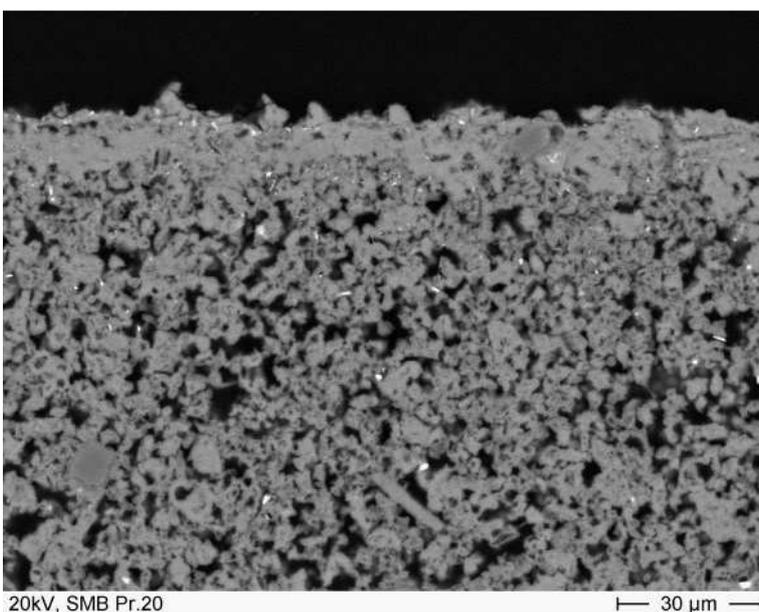
09M0404 □ 011



Probe 20

Abb.:
 EDX der Sinterschicht und es
 darunter befindlichen Putzes in
 011 □ Kalk □ Silikat. EDX Putz-BM
 ohne Silikat vgl. 019/020

09M0404 □ 014



Probe 20

Abb.:
 Putz mit deutlicher
 Kalksinterschicht

09M0404 □ 015

Probe 20

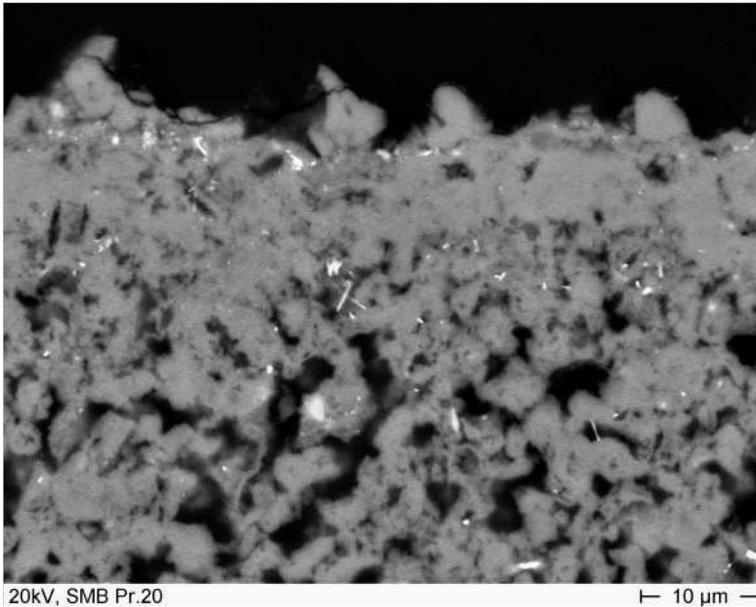


Abb.:
Detail aus 015 Kalksinterschicht
an der Außenseite des Putzes

09M0404 018

Probe 20

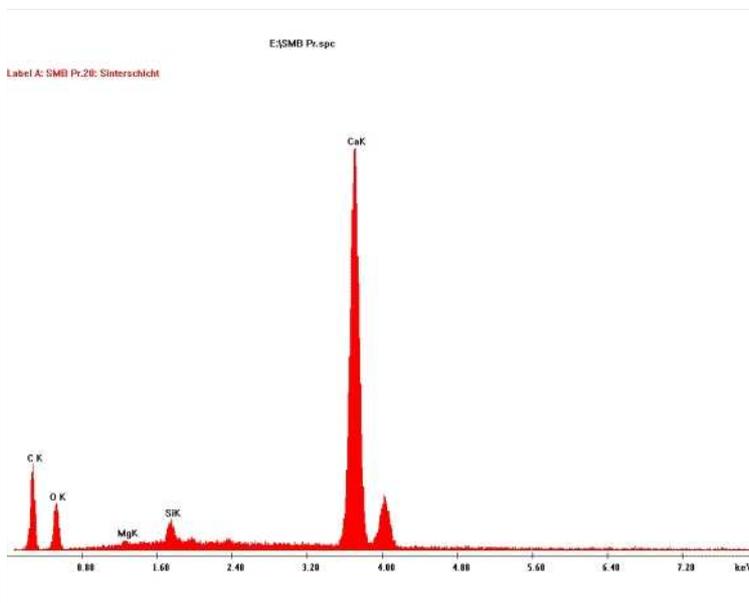


Abb.:
EDX der Kalksinterschicht in 015
bzw. 018

09M0404 017

Probe 20

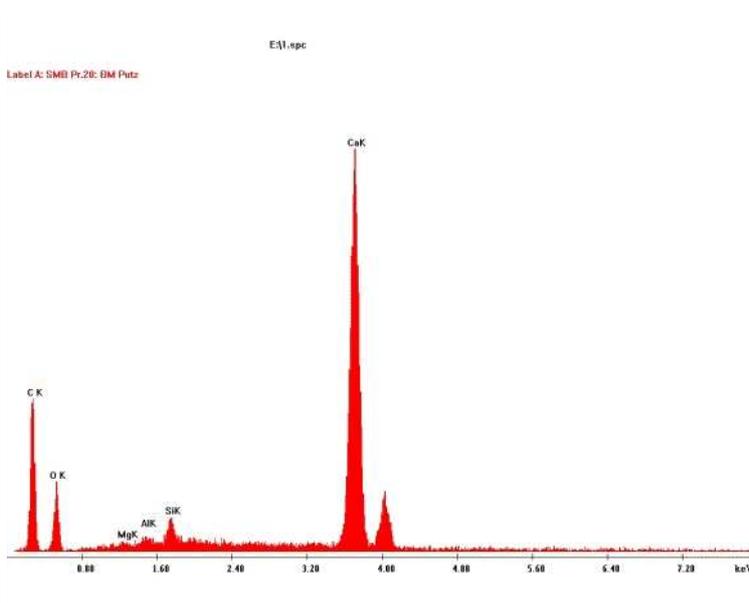
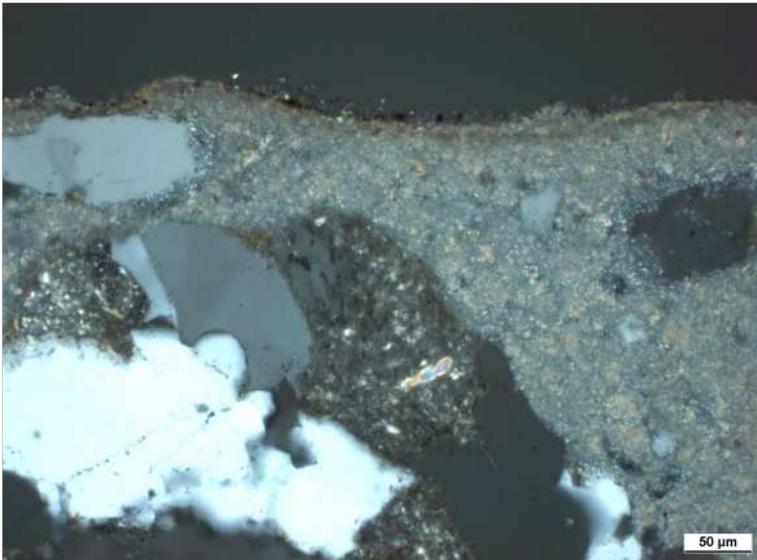


Abb.:
EDX des BM des Putzes,
aufgenommen am hinteren Rand
der Probe, d.h. 3-4 mm unter der
Oberfläche

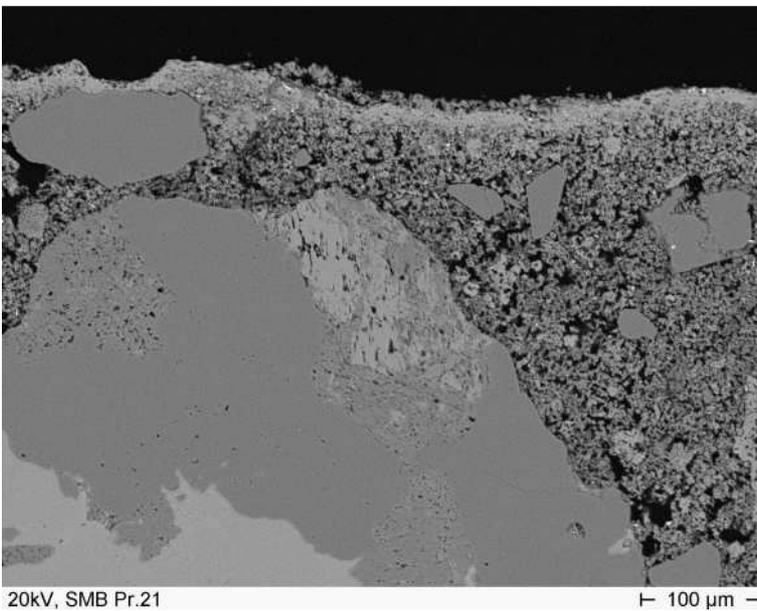
09M0404 020



Probe 21

Abb.:
 Relikte der braunen Malschicht
 auf Putz mit aufliegender
 Gipsschicht

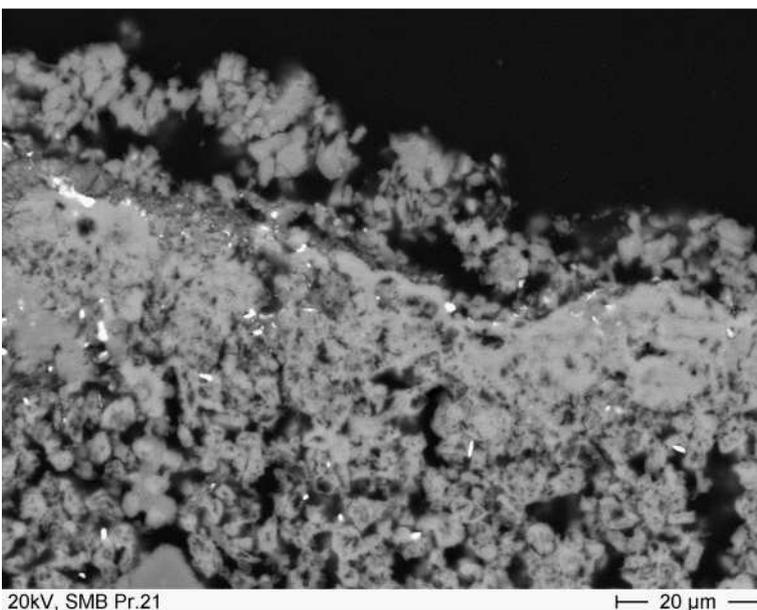
09M0405□001



Probe 21

Abb.:
 zu PoIMi 001 □Versinterte
 Putzoberfläche mit
 Malschichtresten und
 Gipsauflagerung

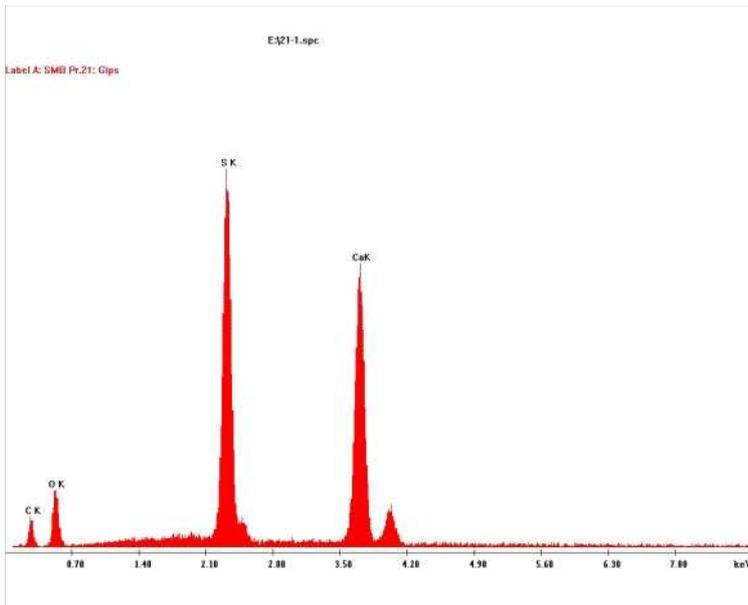
09M0405□004



Probe 21

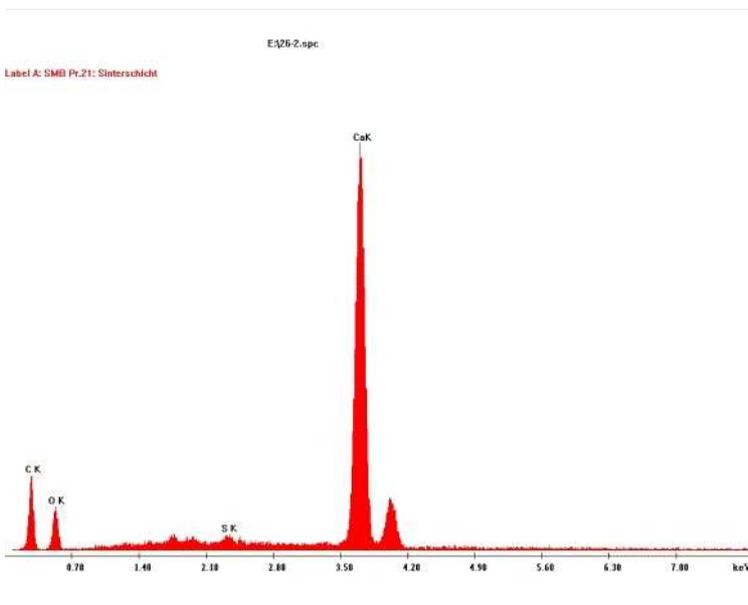
Abb.:
 Detail aus 004 □Versinterte
 Putzoberfläche mit
 Malschichtresten und
 Gipsauflagerung. In der
 Versinterterung befindet sich kein
 Gips

09M0405□005



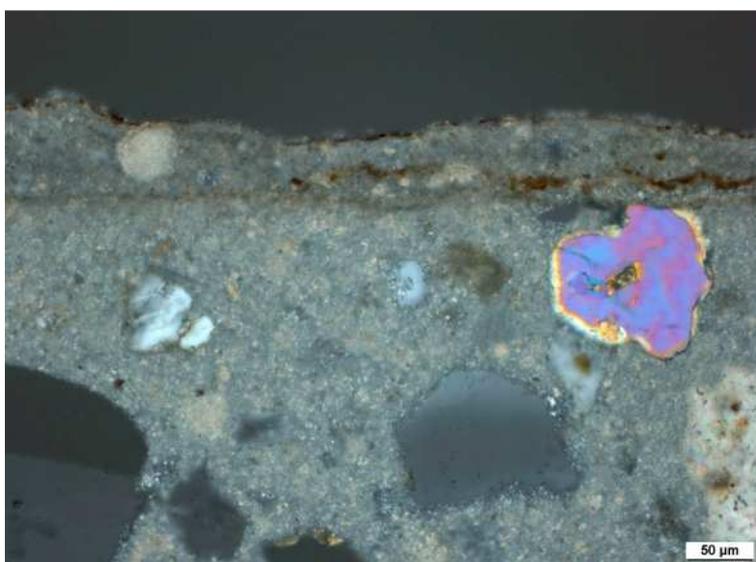
Probe 21

Abb.:
EDX des aufliegenden Gipses in
005



Probe 21

Abb.:
EDX der Versinterung im Putz in
005



Probe 21

Abb.:
Relikte der braunen Malschicht
auf Putzohne aufliegende
Gipsschicht. Stratigraphie□

09M0405□002

Probe 21

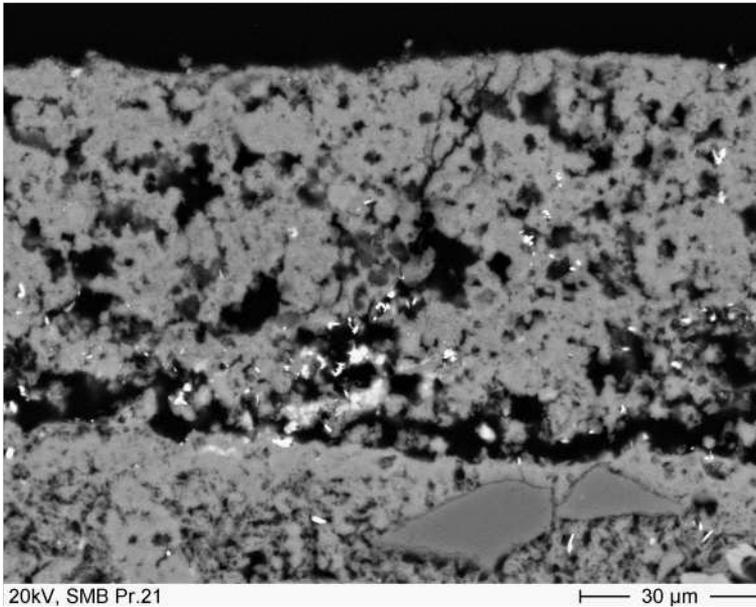


Abb.:
Detail aus 010 □ Versinterte
Malschicht auf versintertem Putz.
In der versinterten Malschicht
ist kein Gips nachweisbar

09M0405 □ 011

Probe 21

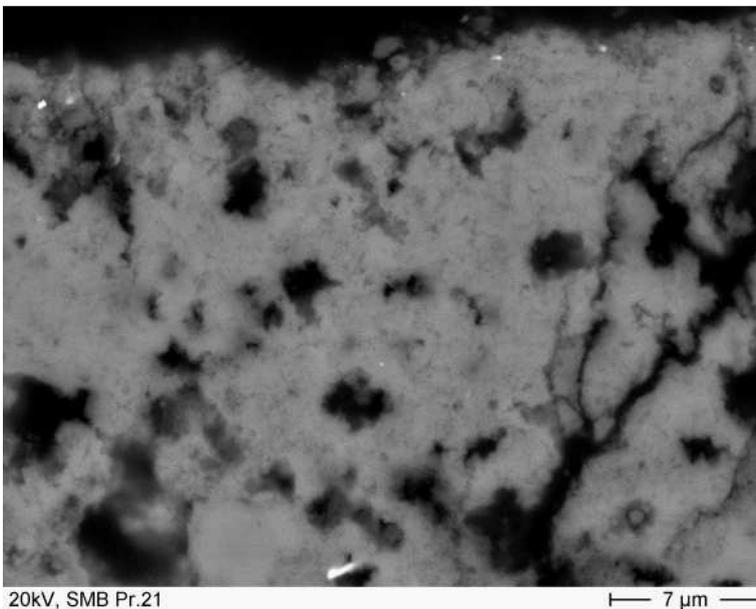


Abb.:
Detail aus 011 □ Versinterte,
gipsfreie Malschicht

09M0405 □ 012

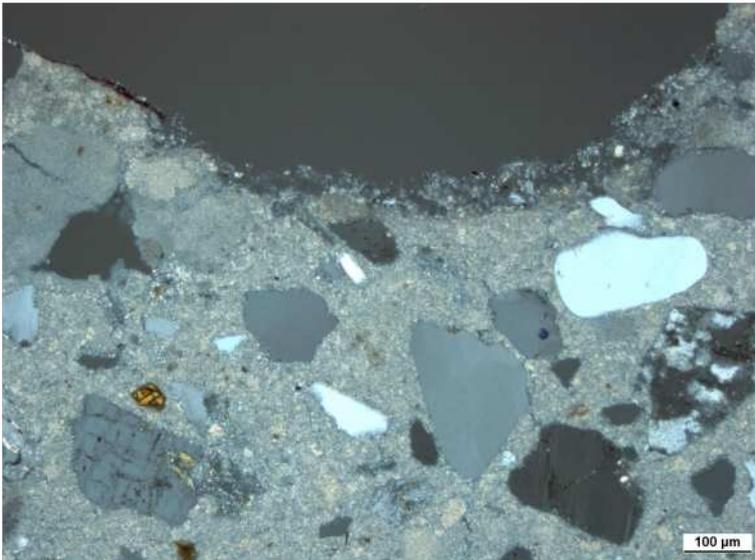


Abb.:
Reste der braunen Malschicht
(linker Bildteil) neben Gips auf
Putz (Mitte und rechter Bildteil)

09M0406□001

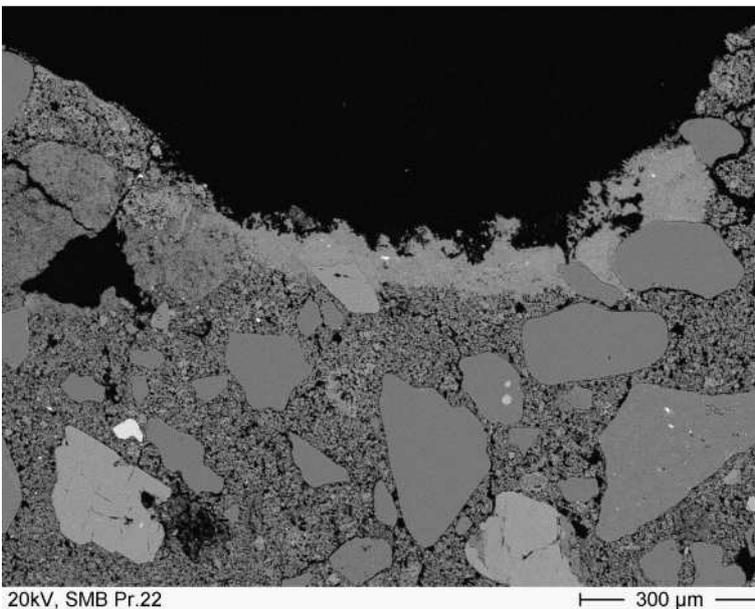


Abb.:
zu PolMi 001 □ Malschichtrelikte
auf Putz. Am Boden der
Vertiefung ist die Malschicht
stark vergipst

09M0406□004

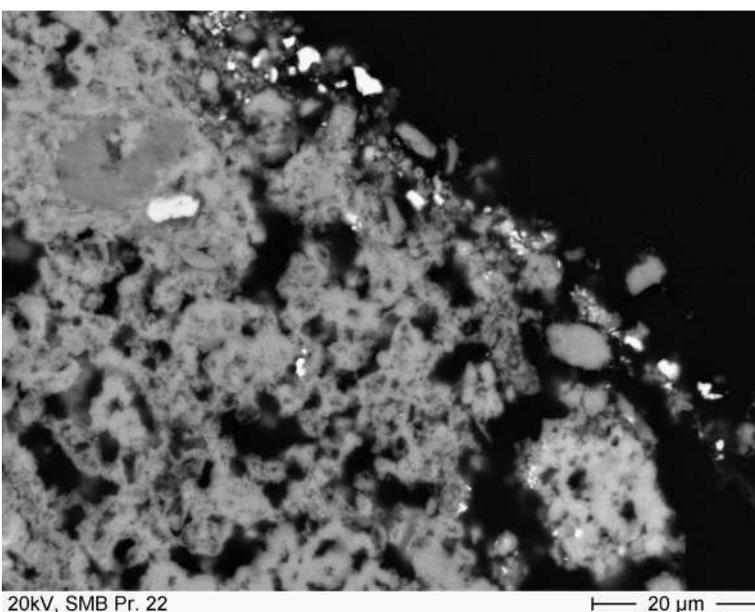


Abb.:
1. Detail aus 004 □ Relikt der
braunen Malschicht auf Putz.
Gipsfrei. Keine Neubildungen
erkennbar.

09M0406□005

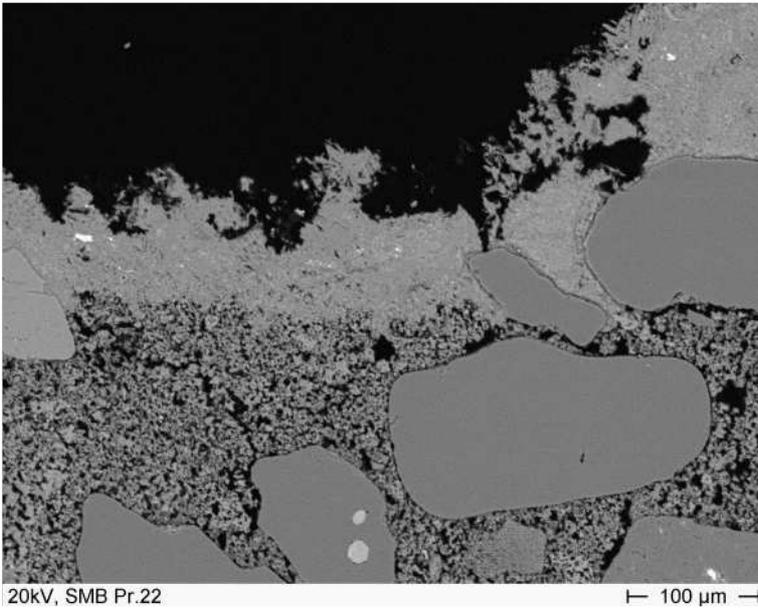


Abb.:
2. Detail aus 004 Stark vergipste und verdichtete Malschicht

09M0406006

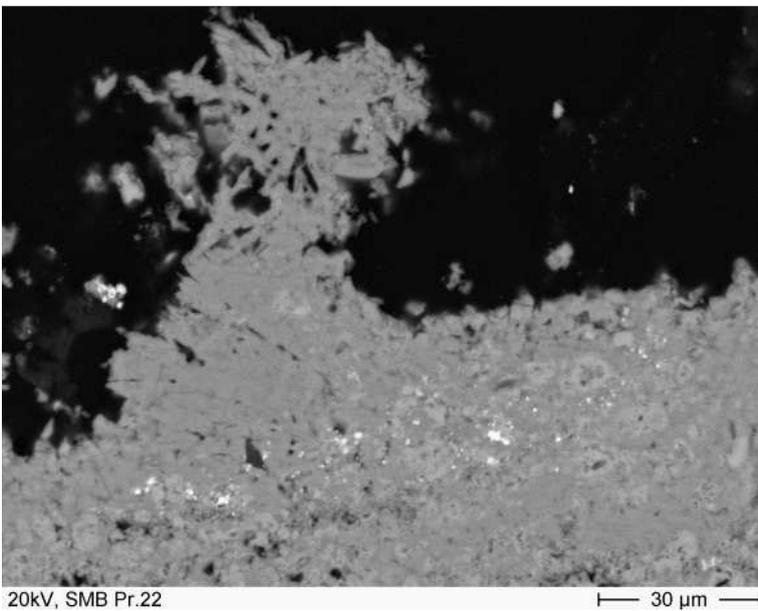


Abb.:
Detail aus 006 Stark vergipste und verdichtete Malschicht

09M0406007

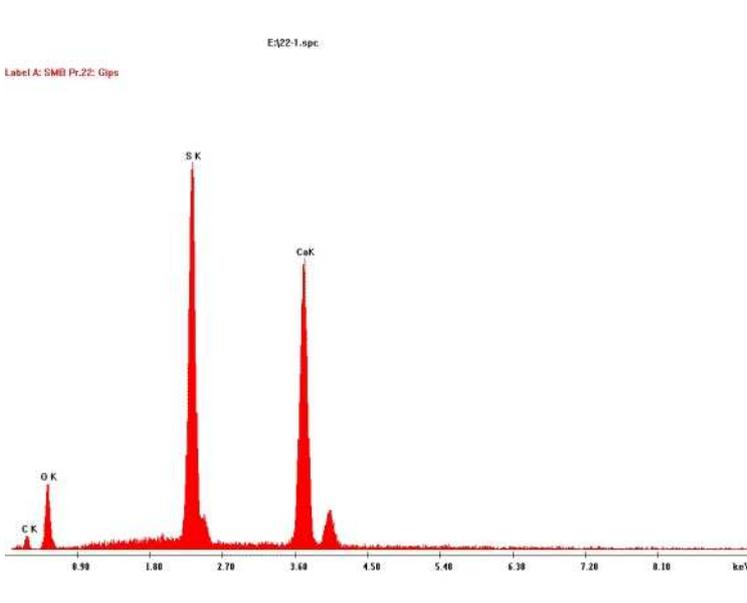


Abb.:
EDX des Gipses in 007

09M0406008



Abb.:
Rete der braunen Malschicht auf
Putz ohne Auflagerungen (□)

09M0406□003

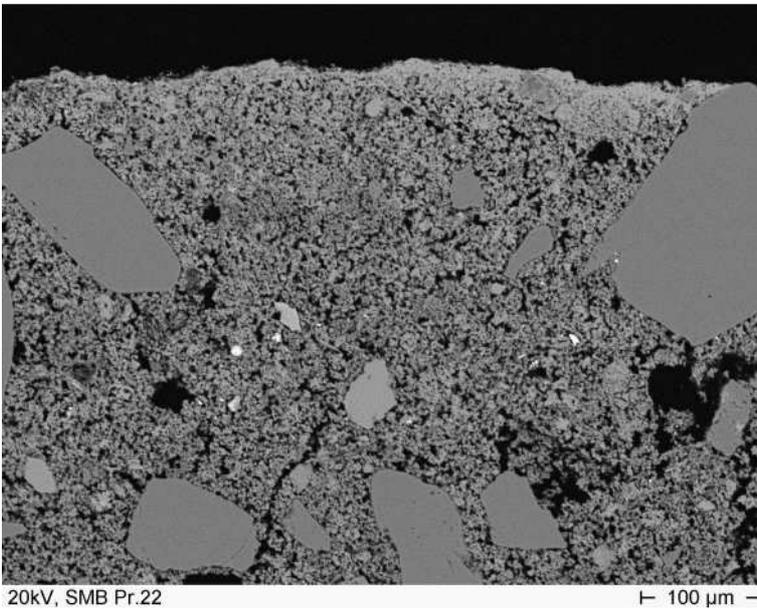


Abb.:
zu PolMi 003. Putz mit Resten
der braunen Malschicht

09M0406□010

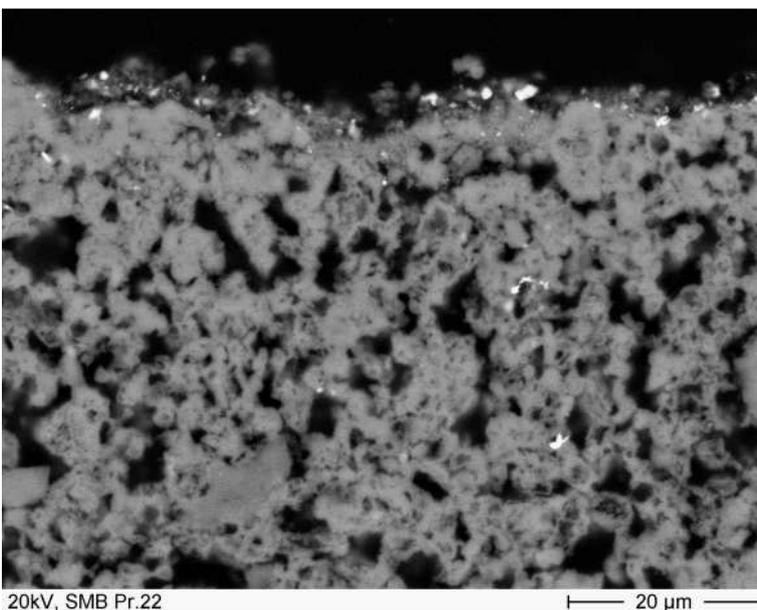


Abb.:
Detail aus 010□Reste der
braunen Malschicht auf Putz.
Kein Gips, keine Neubildungen

09M0406□011

DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe

Datenbank 09M0437

Probe 23 S W, 2. Szene von oben, linke rote Fenstereinfassung
MS nach IA-Behandlung (Dowex CO₃²⁻ über Japanpapier; mit wenig Arbocel BC 200 angemischt sehr dünnflüssig angetragen)

Ergebnis

→ vollst. Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung

Vorzustand

→ weißer Schleier fest mit der MS-Oberfläche verwachsen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

Datenbank 09M0438

Probe 24 S W, 2. Szene von oben, linke rote Fenstereinfassung, Putz um 1900
MS nach IA-Behandlung (Dowex CO₃²⁻ ohne Arbocel, über Japanpapier)

Ergebnis

→ Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung nur auf ca. 2/3 der Fläche

24a Teilfläche mit Resten des Weißschleiers nach der Behandlung

24b Teilfläche ohne Weißschleier

Vorzustand

→ dichter weißer Schleier fest mit der MS-Oberfläche verwachsen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

Probe **25** S-W, 2. Szene von oben, rechts des Fensters im blauen Fond der besonders stark geschädigten Zone, Putz um 1900, Vgl. zu Probe 26

MS nach IA-Behandlung (Powdex CO_3^{2-} mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)

Ergebnis

→ vollst. Entfernung des verkrusteten Weißschleiers durch die IA-Behandlung; außer im Fugenbereich (nicht in der Probe enthalten)

Vorzustand

→ dichter weißer Schleier fest mit der MS-Oberfläche verwachsen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- dünne, blaue Malschicht auf Putz
 - MS ohne Auflagerungen
 - MS stellenweise hohl liegend und/oder aufgespalten
 - neu gebildeter Kalk in der Malschicht
 - kein Gips in oder auf der Malschicht
 - stellenweise Salzgemisch (EDX P, I, S, Na, Ca, Mg), gleiche Befunde an Pr. 27 und 28
 - Blaupigment Thénards Blau $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- **Umwandlung des Gipses nachweisbar**
- **keine Rückstände an der Oberfläche**

Probe **26** S-W, 3. Szene von oben, rechts des Fensters im blauen Fond der besonders stark geschädigten Zone, Putz um 1900

MS nach IA-Behandlung (Powdex CO_3^{2-} mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier), danach 1x H_2O -Kompressenbehandlung, Wiederholung IA-Kompressen

→ wie Probe 25 nach einer weiteren Kompressenbehandlung mit H_2O in Arbocel und einer Wiederholung der IA-Behandlung

Ergebnis

→ die Fläche erscheint nach der wässrigen Kompressenbehandlung etwas dunkler im Vergleich zum Zustand nach der 1. IA-Behandlung (Vgl. mit Probe 25)

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- MS insgesamt etwas präsenter als an Probe 25 (dicker, kompakter)
 - uneinheitliches Erscheinungsbild bzgl. Gipsumwandlung
 - I. Malschichten entsprechen denen von Probe 25 (gipsfrei, Kalkneubildungen)
 - II. stellenweise ist die Malschicht vergipst
 - Morphologie des Gipses in den vergipsten Malschichtbereichen unterscheidet sich deutlich von den Gipsformen der Nullproben
- **Umwandlung des Gipses grundsätzlich nachweisbar**
- **keine Rückstände an der Oberfläche**
- **Verdunklung möglicherweise die Folge einer Neuvergipsung (Gipsmobilisierung durch die Wasserkompressen)**

Probe **27** S W, 3. Szene von oben, unterhalb d. Fensters, im Baum, Putz um 1900
MS nach IA-Behandlung (Dowex CO₃²⁻ ohne Arbocel, über Japanpapier)

Ergebnis

→ durch die IA-Behandlung Weißschleier nur sehr unvollständig entfernt; die vom Weißschleier befreiten Partien erscheinen deutlich dunkler als in der benachbarten mit Powdex behandelten Fläche (Proben 25 und 26)

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Reste einer braunen Malschicht auf Putz
- Braunpigment Umbra
- Probe enthält nur sehr wenig Malschicht
- Malschichten in sich komplett vergipst
- Stellenweise zusätzlich aufliegende Gipskruste
- stellenweise Salzgemisch (EDX P, I, S, Na, Ca, Mg), gleiche Befunde an Pr. 25 und 28
- keine Umwandlung des Gipses
- Weißschleier durch aufliegende Gipsschicht

Probe **28** S W, 3. Szene von oben, unterhalb d. Fensters, im Baum, Putz um 1900
MS nach IA-Behandlung (Dowex CO₃²⁻ ohne Arbocel, über Japanpapier)

Ergebnis

→ Weißschleier im stark vorgeschädigten Augenbereich kaum entfernt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Malschicht auf Putz
- Malschicht stark vergipst
- Malschichten liegen
 - (a) entweder direkt auf dem Putz oder
 - (b) sind aufgetrieben
- bei (a) Vergipsung in der Malschicht, zusätzlich aufliegende, poröse Gipskruste
- bei (b) Pigmente über den Querschnitt der Vergipsung verteilt
- stellenweise Salzgemisch (EDX P, I, S, Na, Ca, Mg), gleiche Befunde an Pr. 25 und 27
- keine Umwandlung des Gipses
- Weißschleier durch aufliegende Gipsschicht

Datenbank 09M0443

Probe 29 S W, 2. Szene von oben, rechte Fensterleibung, Putz um 1900
Festigung mit Gemisch aus Tylose MH 1000 2,5%ig + Kieselol Ludox PX30 4:1 + 20T H₂O (nur gefestigt, keine IA-Behandlung)
Ergebnis
→

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Stark vergipste rote Malschicht auf Kalkputz
 - Malschichtrelikte inselartig in der Gipskruste verteilt - teilweise am unteren Rand auf dem Putz, teilweise mittig oder im oberen Abschnitt
 - stellenweise Kalkpartikel innerhalb der Gipskruste - sehr wahrscheinlich aus dem Putz oder der Malschicht stammend
 - Pigmente Eisenoxide, Bleipigmente (nicht näher untersucht)
 - Festigung nicht nachweisbar (Zwikel zwischen den Gipskristallen gipsfrei)
 - Si-Peak innerhalb der Gipskruste, aber keine Festigerfilme erkennbar
- Festigung nicht nachweisbar

Datenbank 09M0444

Probe 30 S, 2. Szene von oben, rechts, braunes Gewand, ma. Putz
MS nach IA-Behandlung (Dowex CO₃²⁻ ohne Arbocel, über Japanpapier), danach 1x H₂O-Kompresse
Ergebnis
→ dunkle Verkrustung der Malschicht durch IA- Behandlung leicht grau verschleiert, durch H₂O Kompresse Verschleierung verstärkt
Vorzustand
→ dunkel versintert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

- Probe 31 □ S, 2. Szene von oben, rechts, braunes Gewand, ma. Putz
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO₃²⁻ mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier), 2x behandelt (WH IA pur auf JP ohne Arbocelzugabe)
Ergebnis
→ nach der Behandlung deutliche Aufhellung (Reinigung, aber auch leichte Verschleierung); Reste des feinen IA-Pulvers der 2. Behandlung ohne Arbocelzugabe dringen durch das □P und lassen sich nur schwer von der O□ entfernen
Vorzustand
→ dunkel versintert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

- Probe 32 □ S, 1. Szene von oben, rechts, Mandorla, Putz um 1900
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO₃²⁻ mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier)
Ergebnis
→ nach der Behandlung deutlicher Reinigungseffekt, (MS war schon vor der Behandlung stark reduziert)
Vorzustand
→ dunkel versintert und verschleiert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

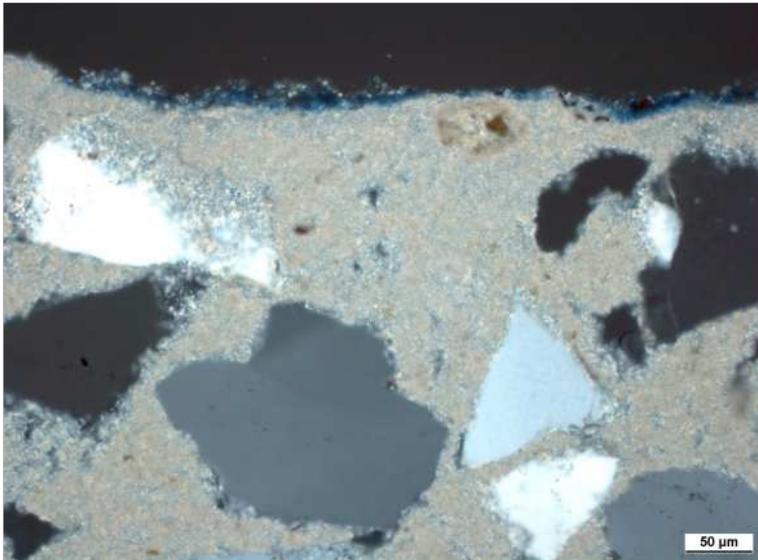
Probe **33** S, 1. Szene von oben, rechts, Mandorla, Putz um 1900
MS nach IA-Behandlung (Powdex CO_3^{2-} mit Arbocel BC 200 1:1 über Japanpapier), nach Festigung mit Tylose MH 1000 + Ludox PX30 2:1
Ergebnis
 → IA-Behandlung hier nicht erfolgreich, Weißschleier wenig verstärkt
Vorzustand
 → dunkel versintert

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Rote Malschicht mit Auflagerungen auf Putz
- Malschicht befindet sich überwiegend auf dem Putz (nicht aufgetrieben)
- Auflagerungen bestehen aus Gips
- Vergipsung im Bereich der Malschicht sehr dicht, darüber porös
- Festigung morphologisch nicht sicher nachweisbar, stellenweise aber entsprechende Strukturen mit passendem EDX-Spektrum
- überall deutlicher Si-Peak in der porösen Gipskruste (festiger)
- Keine Umwandlung des Gipses
- Festigung sehr wahrscheinlich nachweisbar (morphologisch und EDX)
- keine Umwandlung des Gipses

Anmerkungen U. Hahn:

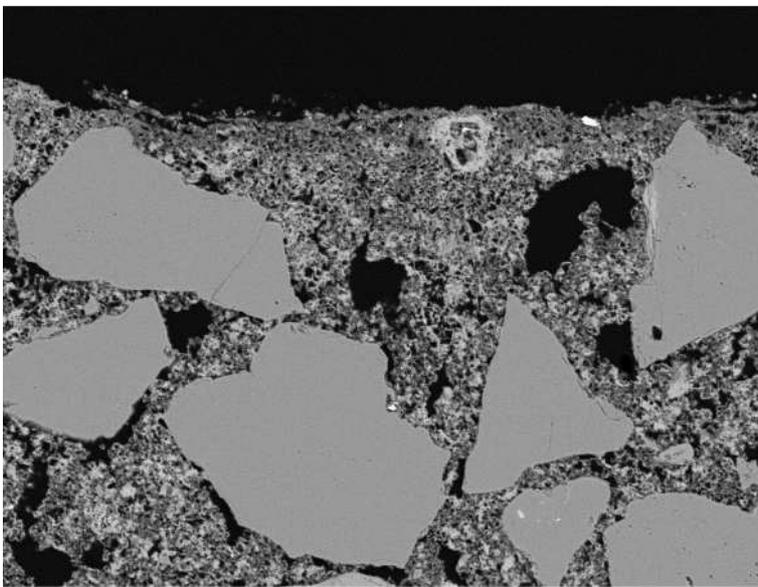
- sämtliche Proben haben mind. 4-5 Stunden eingewirkt; der IA wurde immer über Japanpapier angetragen und mit einer dicken Kompresse aus Arbocel B 1000 feuchtgehalten (Ölöliefenabdeckung)
- Dowex O3 2- ist jetzt die durch das Münchner Labor (Dr. Wendler) definitiv vollständig umgeladenen Variante des ehemals chloridbeladenen Produktes; wegen der größeren Körnung dringt dieser IA nicht durch das Japanpapier; er lässt sich allerdings auch etwas schwerer handhaben; was einer der Gründe für die partiell unvollständige Umsetzung des Gipses sein könnte



Probe 25

Abb.:
 Reste einer blauen Malschicht
 auf Putz, hier ohne
 Auflagerungen

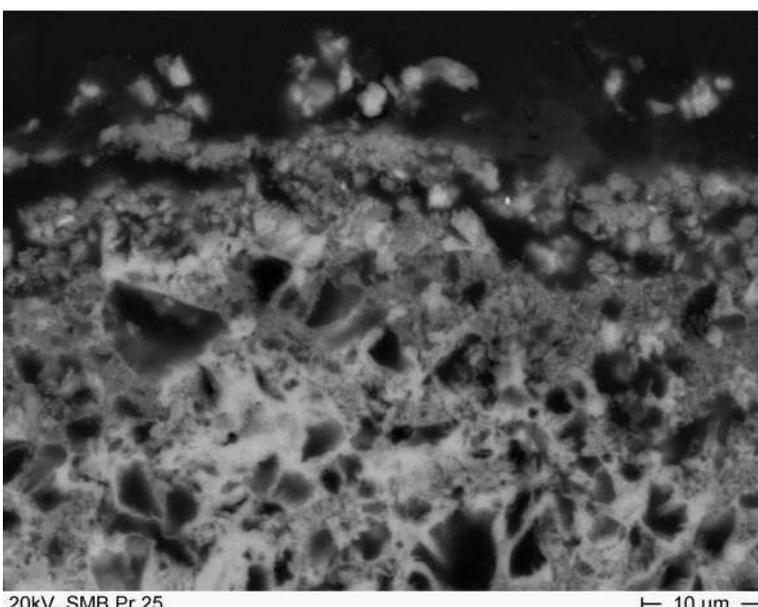
09M0439□001



Probe 25

Abb.:
 zu PoIMi 001 □ Malschicht auf
 Kalkputz. □ bersicht zu 004

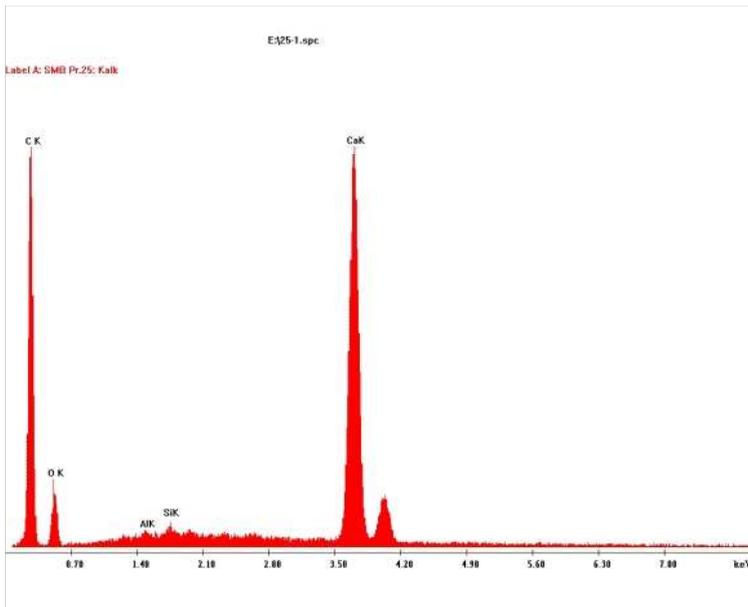
09M0439□007



Probe 25

Abb.:
 Detail aus 007 □ Malschicht auf
 Kalkputz. Sekundär gebildter
 feinkörniger Kalk erkennbar

09M0439□004



Probe 25

Abb.:
EDX des feinkörnigen Kalkes in
der Malschicht in 004.

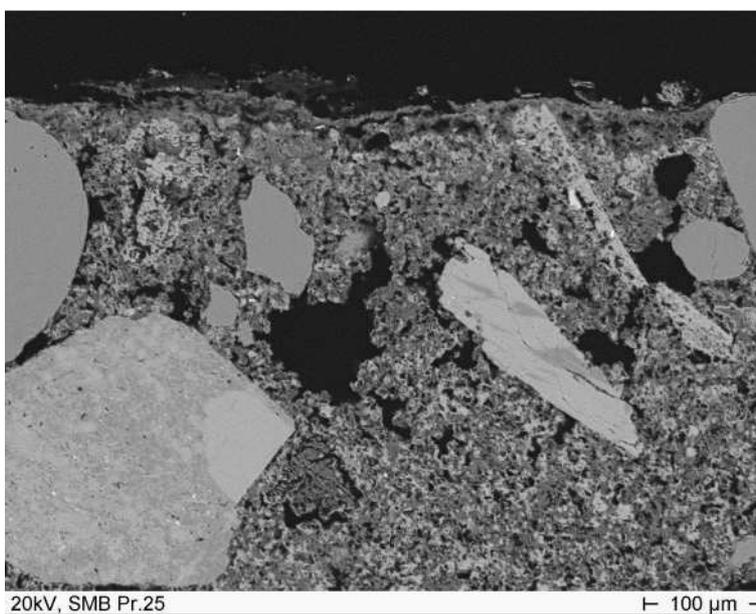
09M0439□005



Probe 25

Abb.:
Reste einer blauen Malschicht
auf Putz, mit Auflagerungen

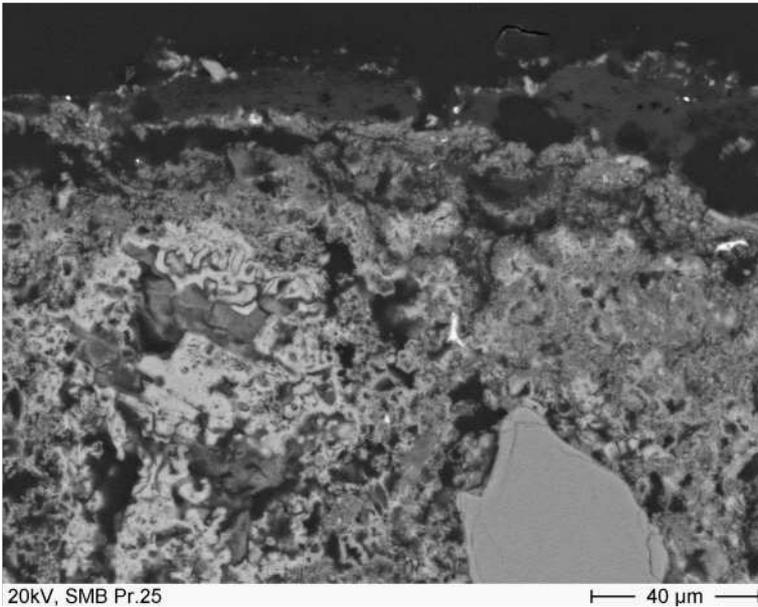
09M0439□002



Probe 25

Abb.:
zu PolMi 002□Malschicht auf
Kalkputz

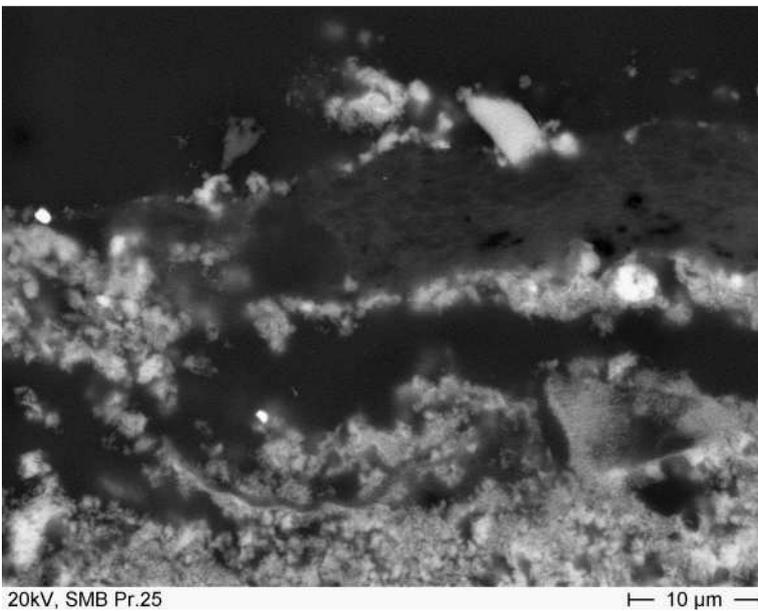
09M0439□008



Probe 25

Abb.:
 Detail aus 008. Malschicht
 gespalten und hohl liegend.
 Kalkneubildungen erkennbar.
 Kein Gips. Außerdem
 Zwischenschicht in der
 gespaltenen Malschicht

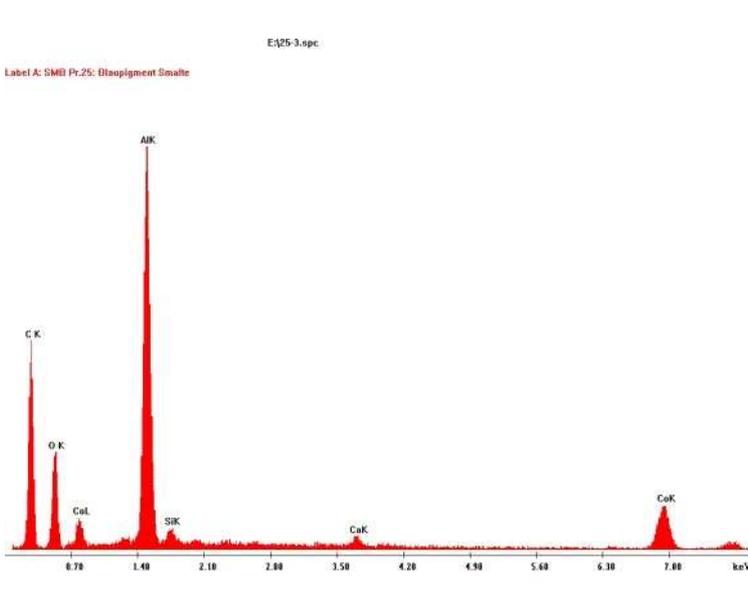
09M0439□009



Probe 25

Abb.:
 Detail aus 009□Gespaltene, hohl
 liegende Malschicht.
 Zwischenschicht nicht sicher
 identifizierbar (evtl. Salze□S, □I
 und P, Spektrum identisch 007
 an Probe 27). Helles Korn im
 rechten Bildteil Blaupigment
 (Thernards Blau)

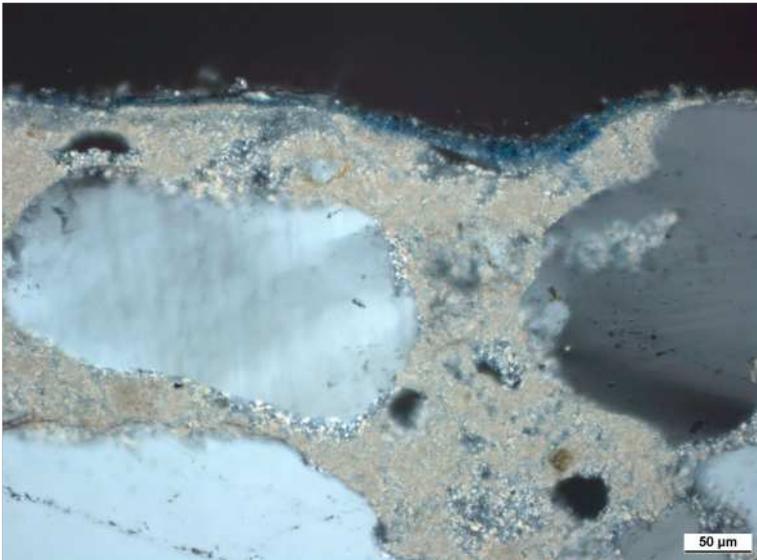
09M0439□012



Probe 25

Abb.:
 EDX des hellen Kornes am
 rechten Bildrand von 012.
 Blaupigment Thenards Blau
 (keine Smalte - falsche
 Beschriftung)

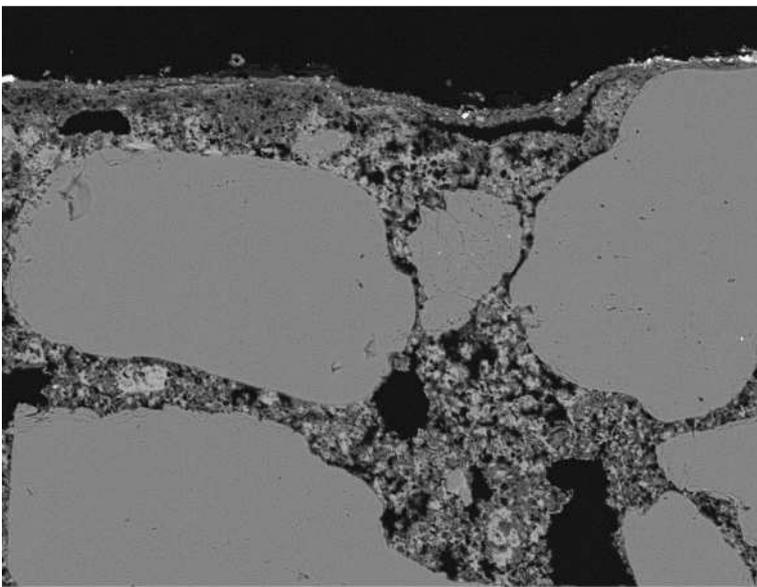
09M0439□014



Probe 26

Abb.:
 Probenstück 2, Blaue Malschicht
 auf Putz

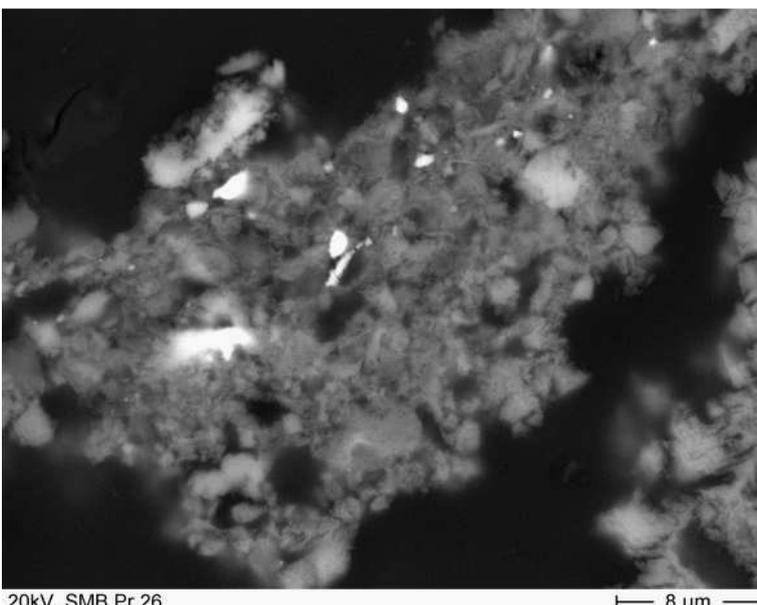
09M0440□001



Probe 26

Abb.:
 zu PoIMi 001 □ Malschicht auf
 Kalkputz

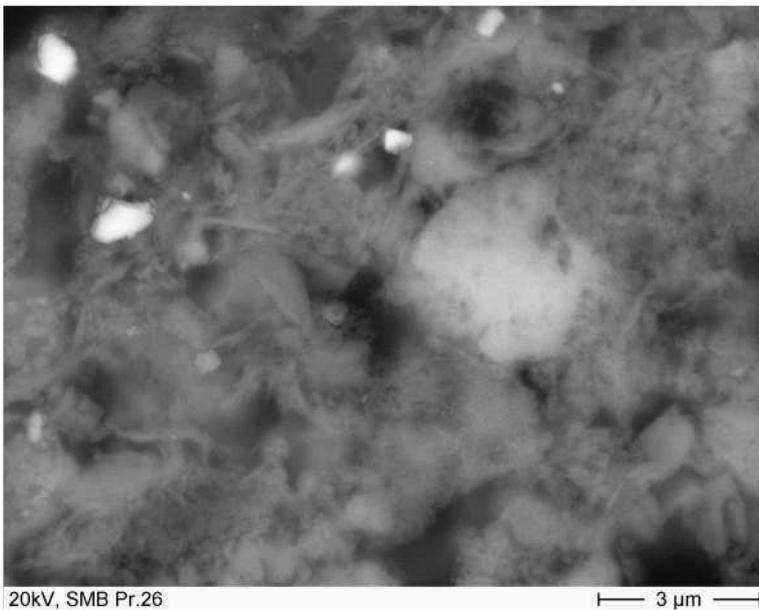
09M0440□004



Probe 26

Abb.:
 Detail aus 004 □ Blaue Malschicht
 mit Pigmenten und Füllstoffen
 (Schwerspat, Fe-haltige
 Verbindungen, Thenards Blau).
 Kein Gips in diesem Bereich der
 Malschicht

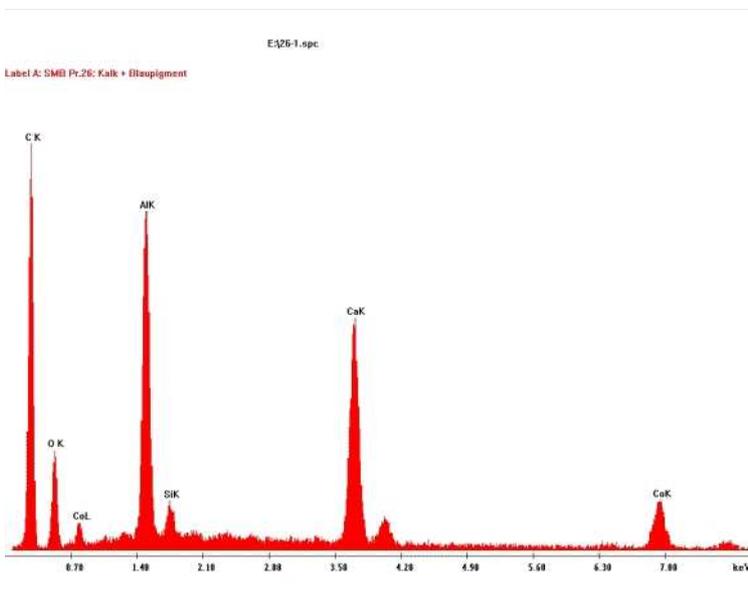
09M0440□005



Probe 26

Abb.:
Detail aus 005 □ Gipsfreie Matrix
mit Blaupigmentkorn - rechts der
Bildmitte (Thenards Blau)

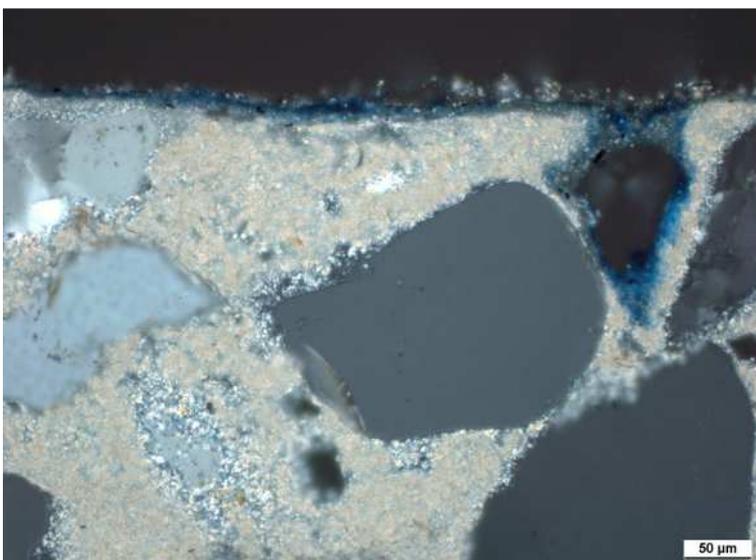
09M0440 □ 006



Probe 26

Abb.:
EDX der Matrix in 006 □ Kalk □
Blaupigment

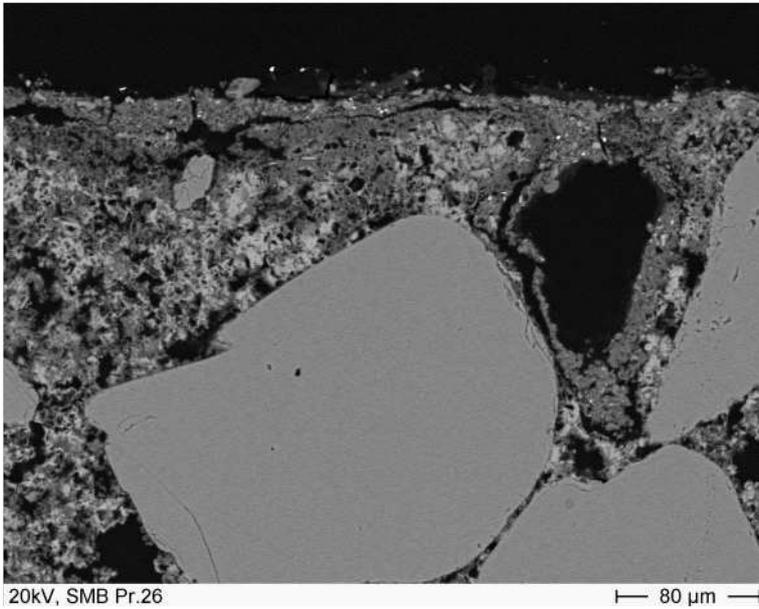
09M0440 □ 007



Probe 26

Abb.:
Probenstück 2, Blaue Malschicht
auf Putz

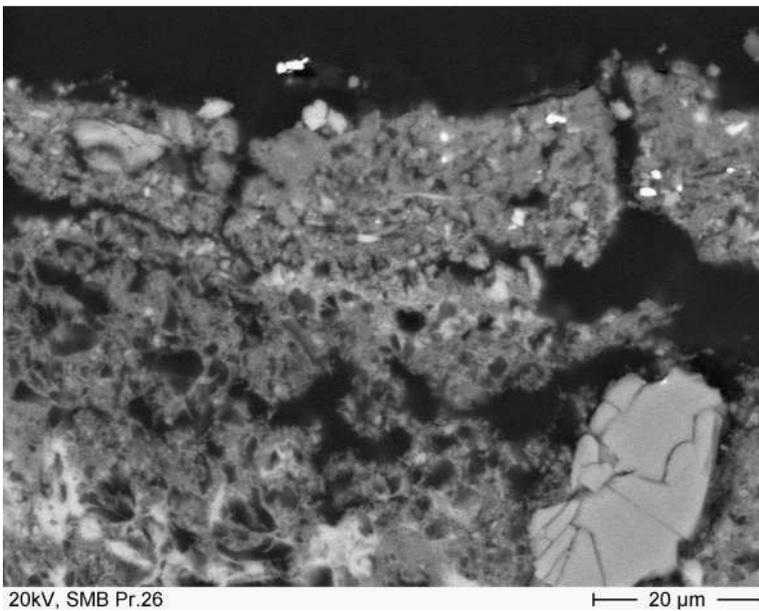
09M0440 □ 002



Probe 26

Abb.:
Etwas kleinerer Bildbereich als
PoIMi 002 – Kompakt
erscheinende Malschicht auf
Kalkputz

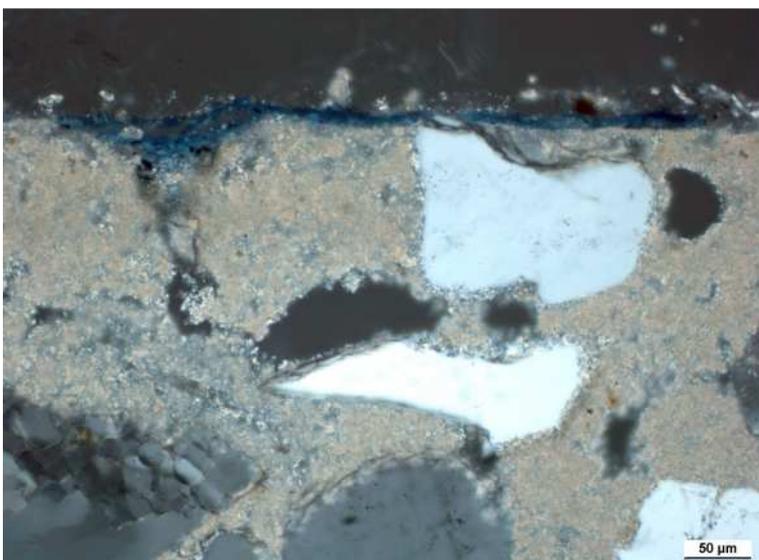
09M0440 – 009



Probe 26

Abb.:
Detail aus 009 – Kompakte,
gipsfreie Malschicht

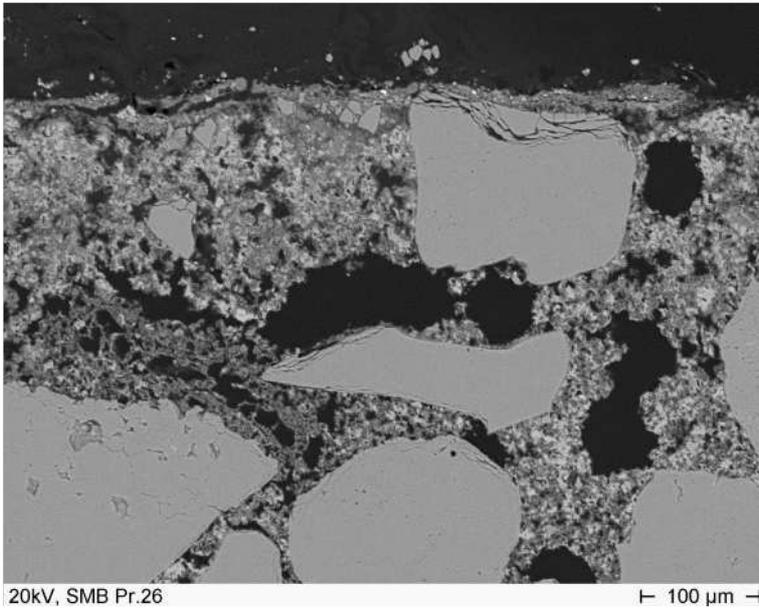
09M0440 – 010



Probe 26

Abb.:
Probenstück 3, Blaue Malschicht
auf Putz

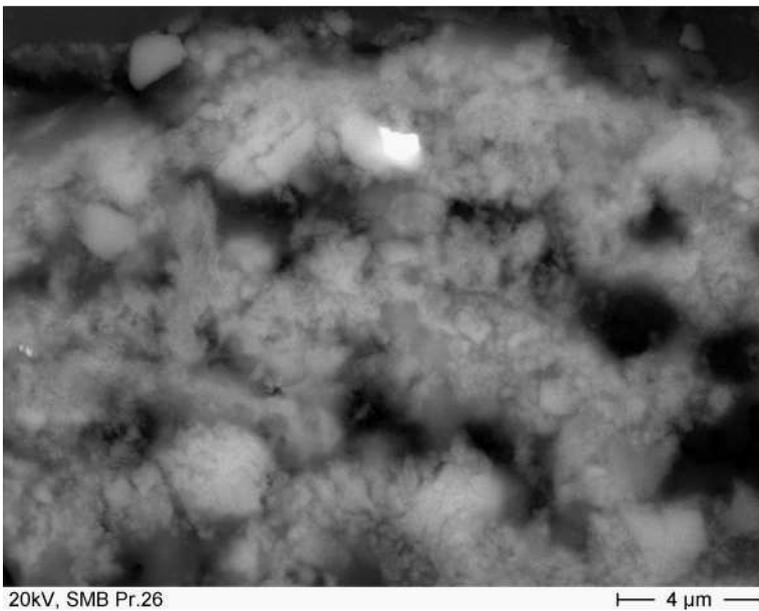
09M0440 – 003



Probe 26

Abb.:
zu PoIMi 003 □ Malschicht auf
Kalkputz

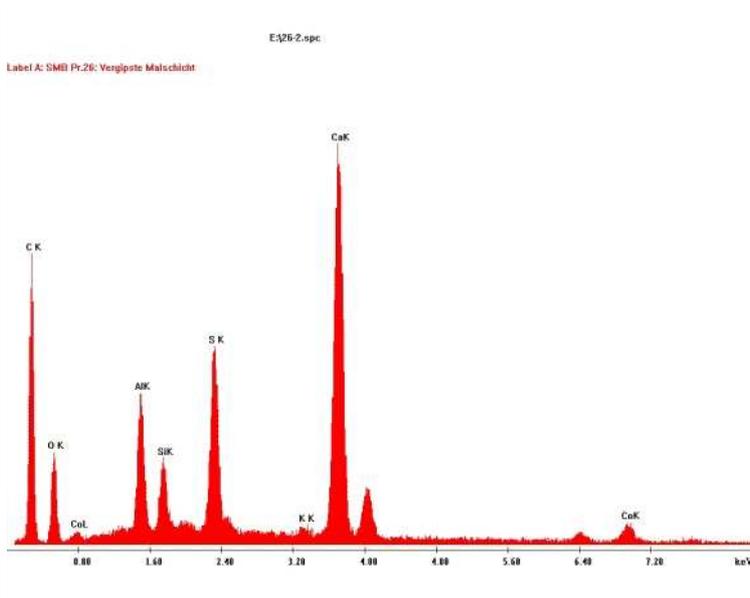
09M0440 □ 011



Probe 26

Abb.:
1. Detail aus 011 (Malschicht
über dem großen Quarzkorn) □
Die Matrix enthält erhebliche
Mengen Gips

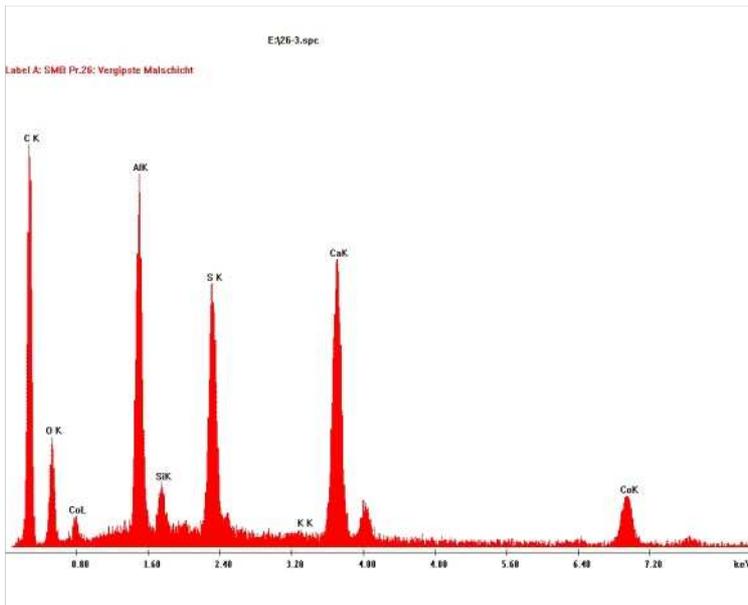
09M0440 □ 012



Probe 26

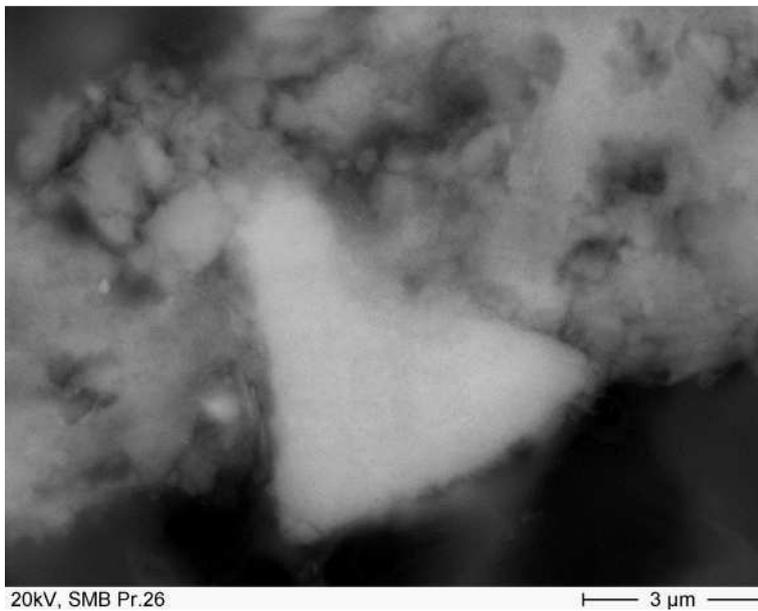
Abb.:
EDX über das Bildfeld in 012 □ der
S stammt vom Gips in der
Malschicht

09M0440 □ 014



Probe 26

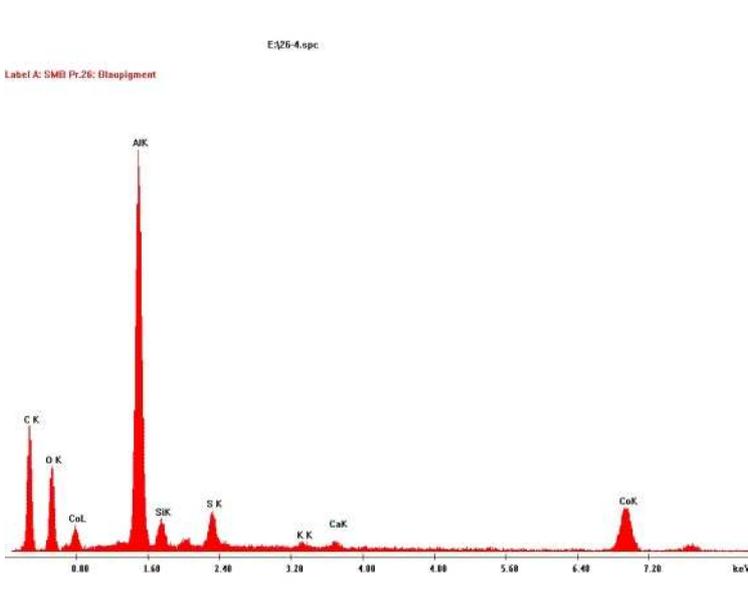
Abb.:
EDX-Spotmessung in 012□ Gips
□ Blaupigment (entspricht 007,
nur Gips anstelle von Kalk)



Probe 26

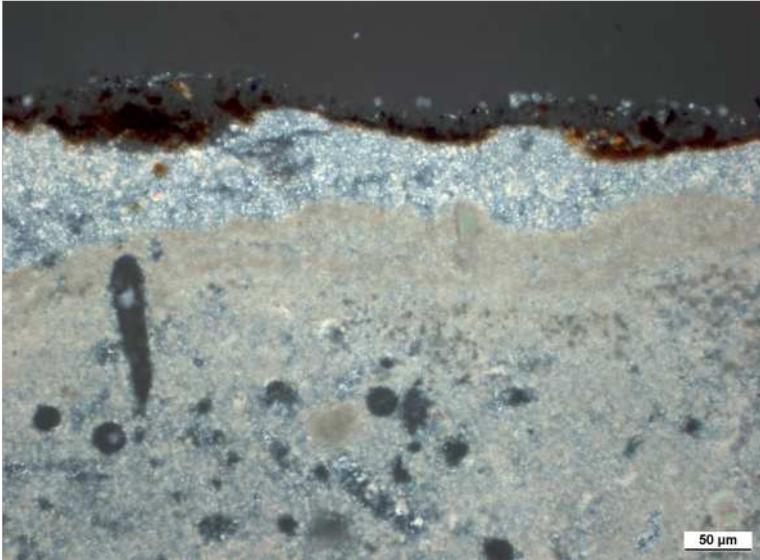
Abb.:
2. Detail aus 011□
Blaupigmentkorn in vergipster
Malschicht (Thenards Blau)

09M0440□017



Probe 26

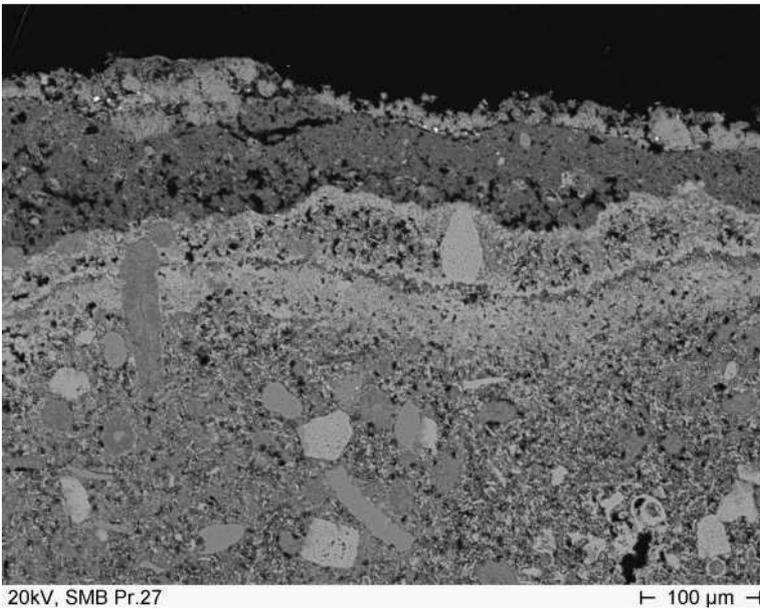
Abb.:
EDX des weißen Kornes in 017□
Thenards Blau



Probe 27

Abb.:
Braune Malschicht auf Putz,
Auflagerungen

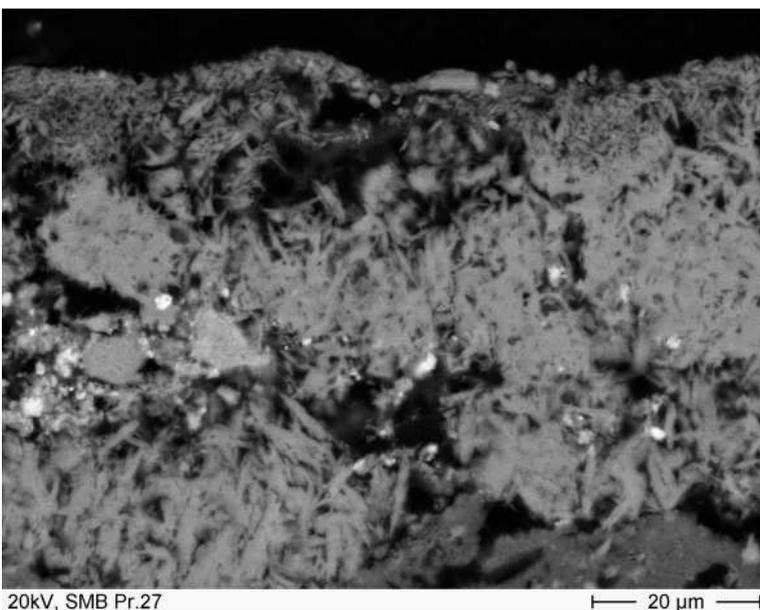
09M0441□001



Probe 27

Abb.:
zu PoIMi 001 □ Braune Malschicht
auf Kalktünchen

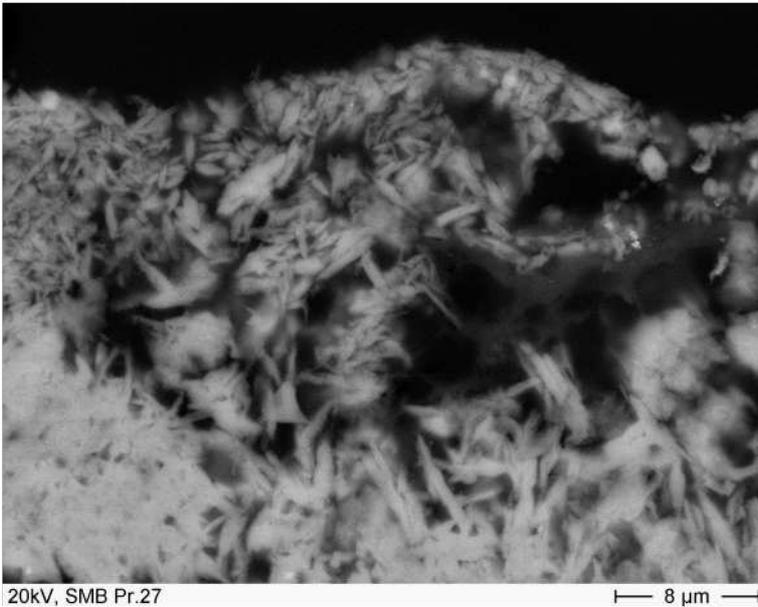
09M0441□004



Probe 27

Abb.:
1. Detail aus 004 □ Stark vergipste
Malschicht, außerdem
aufliegende Gupsschicht. Lage
und ungefähre Dicke der
Malschicht durch die hellen
Umbrapigmente erkennbar.

09M0441□005



Probe 27

Abb.:
Detail aus 005 – Aufliegende Gipsschicht. In der rechten Bildhälfte nicht identifizierbare dunkelgraue Strukturen (gleiche Zusammensetzung wie Zwischenschicht an Pr. 25, vgl. dort Abb. 012)

09M0441-006

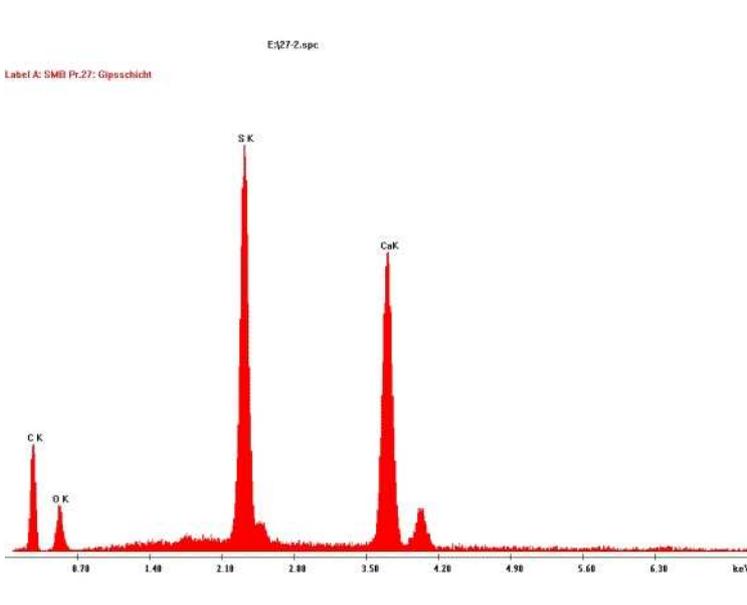
Auf das Bild "\\mssql\bilder\DBU St. Marien Bergen\09M0441_007.bmp" aus dem Archiv "MPA(mssql)" konnte nicht zugegriffen werden. Bilddatei nicht verfügbar.

Probe 27

Abb.:
EDX der dunkelgrauen Strukturen in der Gipsschicht in 006 – Salze

Ausgerechnet dieses Spektrum

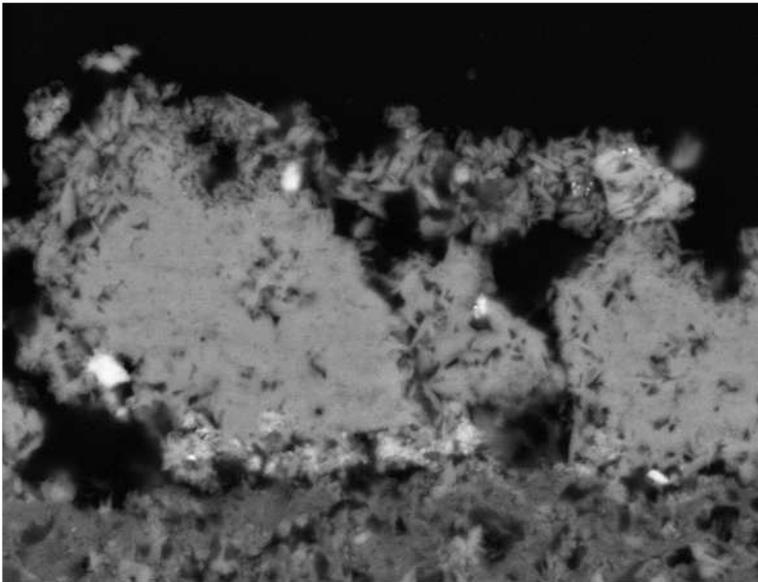
09M0441-007



Probe 27

Abb.:
EDX der Gipskristalle in 006

09M0441-009



20kV, SMB Pr.27

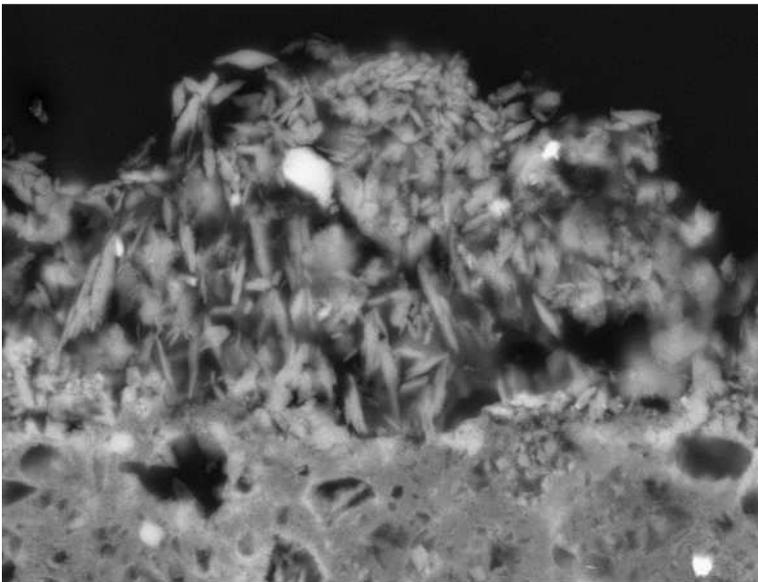
10 µm

Probe 27

Abb.:

2. Detail aus 004 □ Pigmente und Gips. Teilweise Pusteln.

09M0441 □ 011



20kV, SMB Pr.27

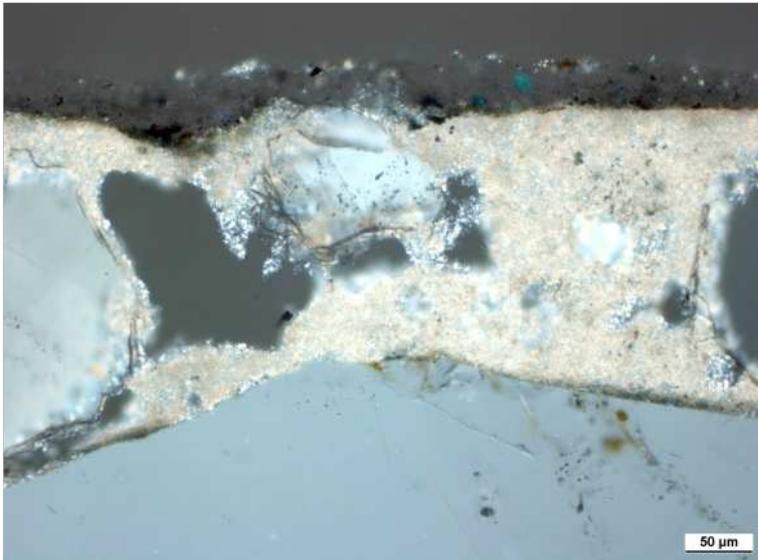
10 µm

Probe 27

Abb.:

Stark gedünnte Malschicht aus dem Bildbereich von PoIMi 002 □ Umbrapigmente umgeben von tafeligen Gipskristallen

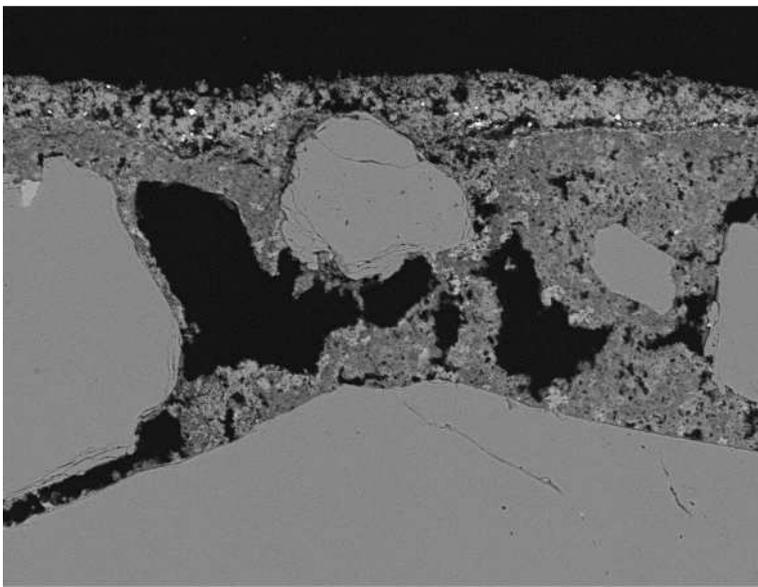
09M0441 □ 012



Probe 28

Abb.:
Grüne Malschicht auf Putz,
Pigmente über den Querschnitt
verteilt

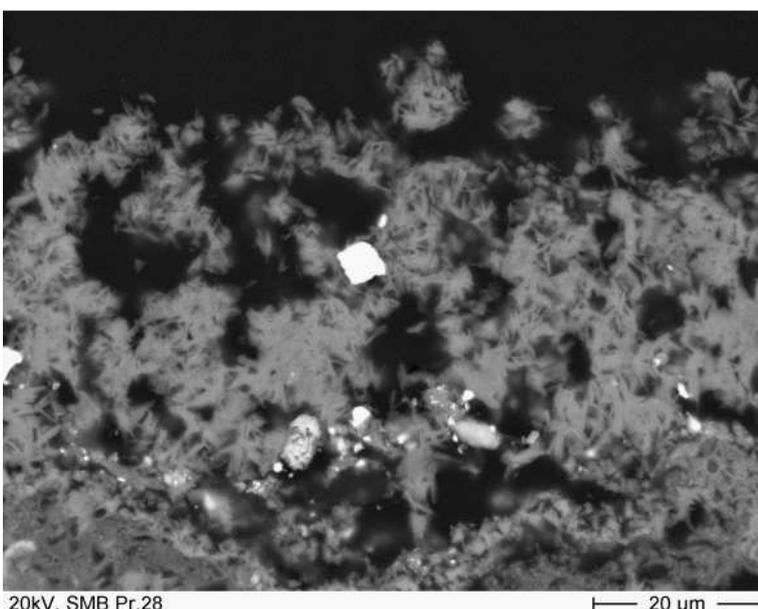
09M0442-006



Probe 28

Abb.:
zu PoIMi 005/006-
Vergipste
Malschicht auf Putz

09M0442-007



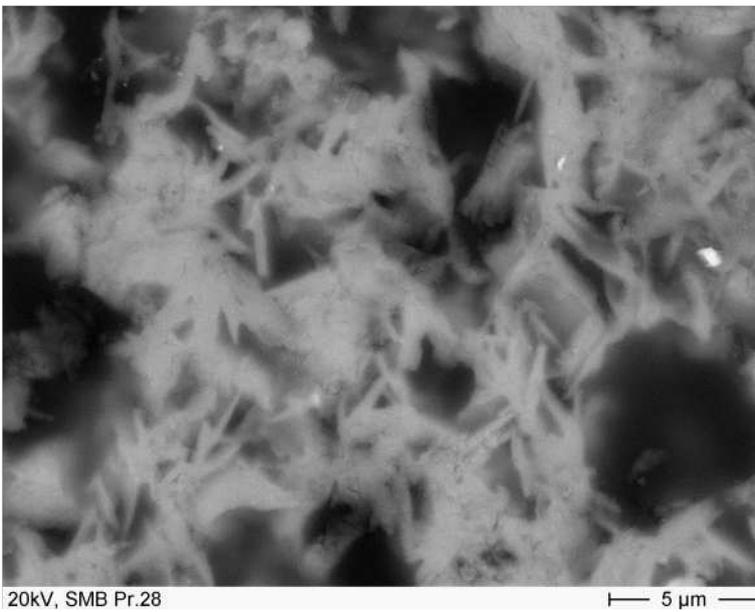
Probe 28

Abb.:
Detail aus 007-
Vergipste
Malschicht auf Putz. Pigmente
am unteren Rand angereichert.
Sehr helle Körner-
Schwerspat

09M0442-008

Probe 28

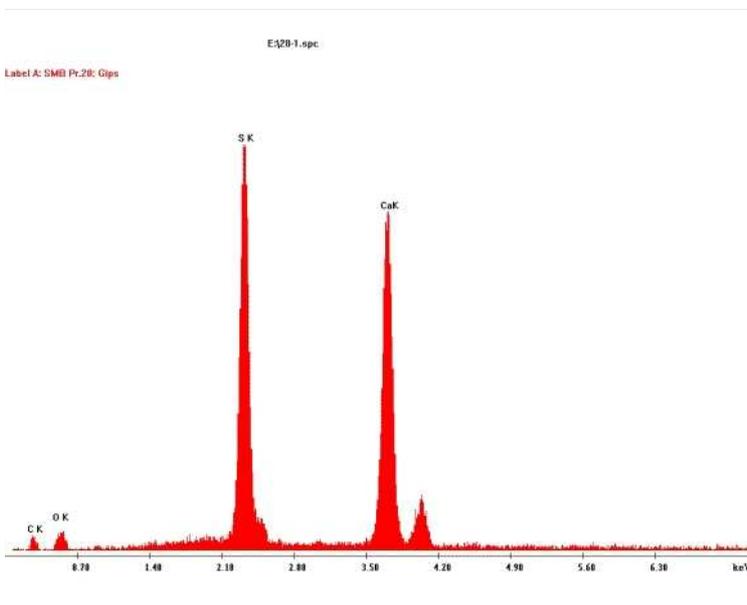
Abb.:
Detail aus 008 □ Vergipsung



09M0442 □ 009

Probe 28

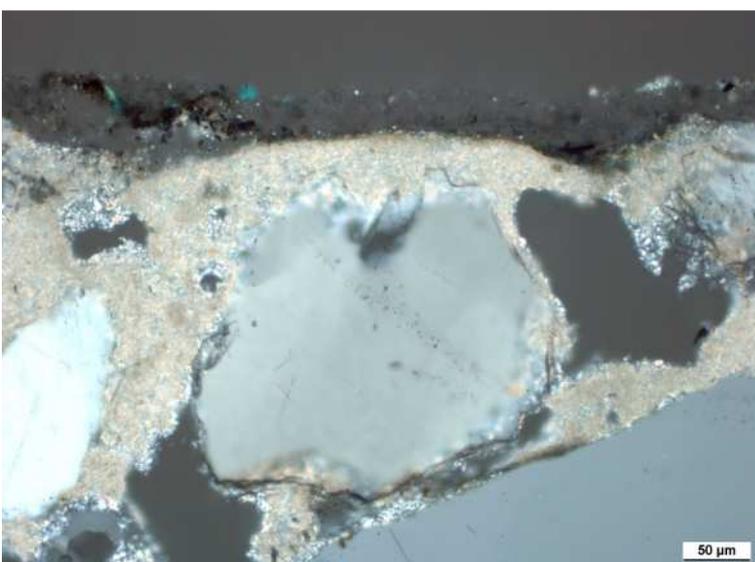
Abb.:
EDX der Gipskristalle in 009



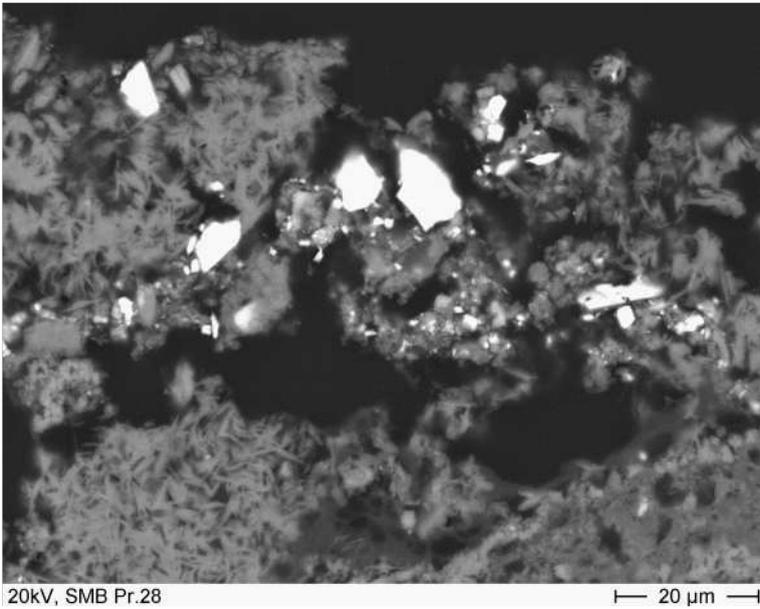
09M0442 □ 010

Probe 28

Abb.:
Aufgetriebene grüne Malschicht
auf Putz



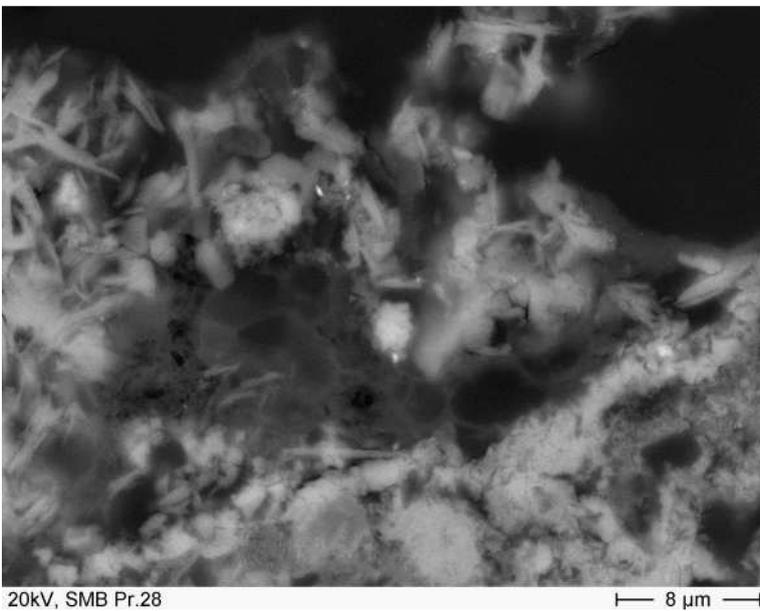
09M0442 □ 004



Probe 28

Abb.:
Detail aus der linken oberen Bildecke von 004 in der Malschicht verteilte Pigmente (Schwerspat). Dunkelgraue Strukturen am unteren Bildrand analog den Beobachtungen an Pr. 25 und 27 evtl. Salze

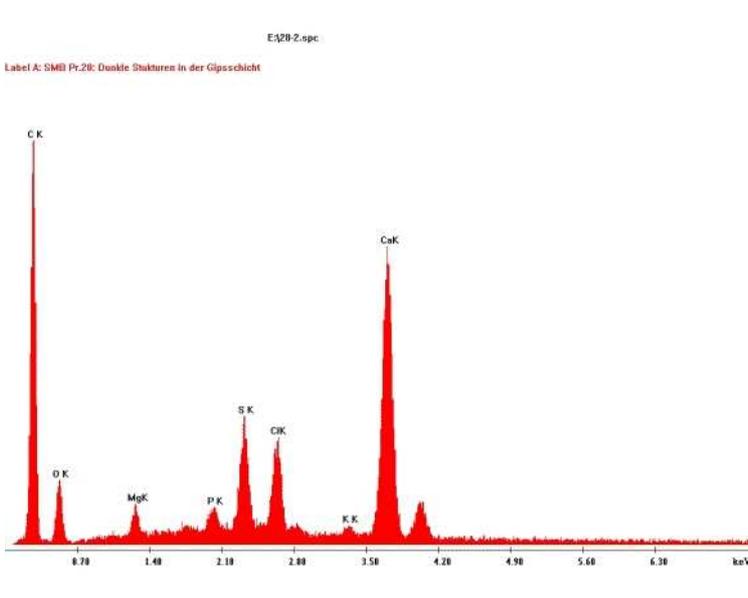
09M0442 012



Probe 28

Abb.:
Detail aus 012 Dunkelgraue Strukturen evtl. Salze (vgl. Pr. 25 und 27)

09M0442 013



Probe 28

Abb.:
EDX der dunkelgrauen Strukturen in 013 Salze (vgl. 007 an Pr.27)

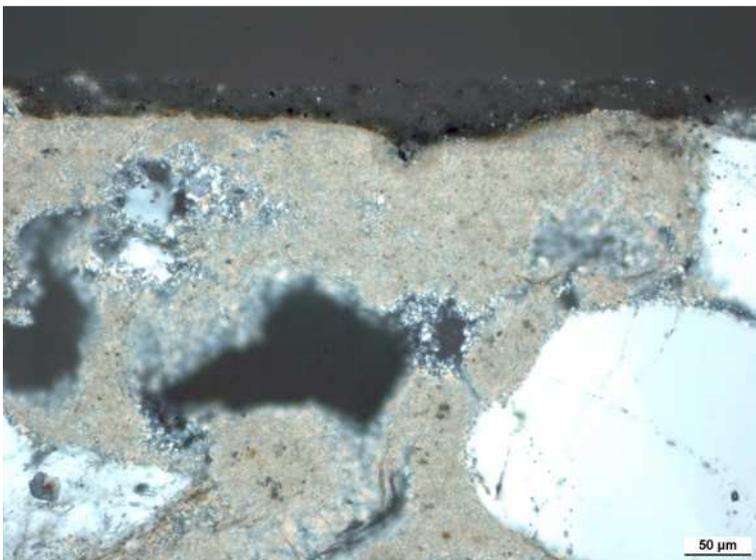
09M0442 015



Probe 28

Abb.:
 Stark ausgedünnte grüne
 Malschicht auf Putz,
 Auflagerungen

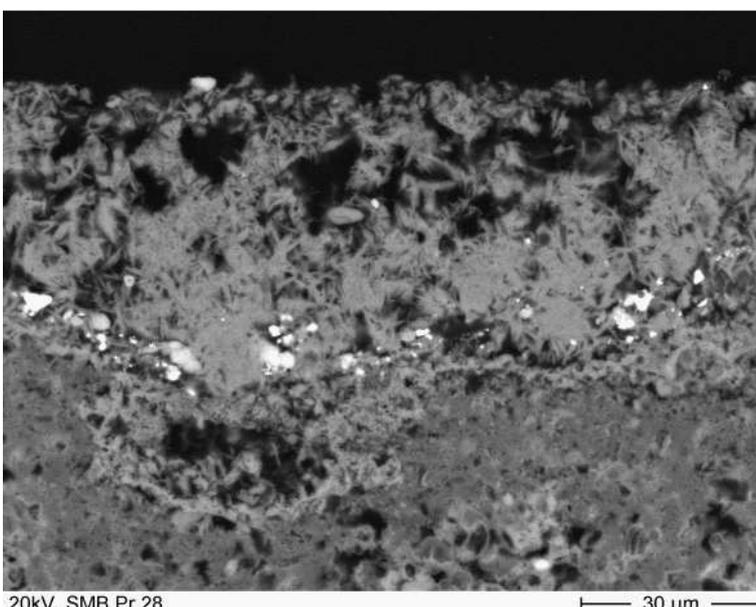
09M0442□001



Probe 28

Abb.:
 Stark ausgedünnte grüne
 Malschicht auf Putz,
 Auflagerungen

09M0442□002



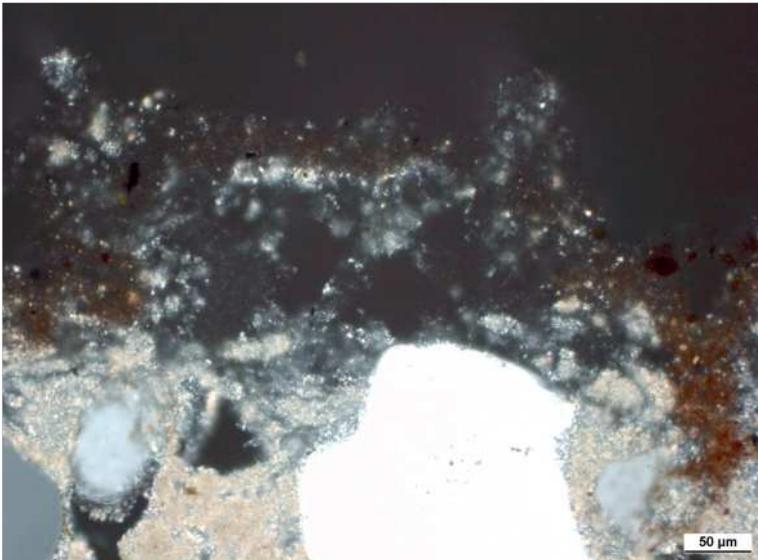
Probe 28

Abb.:
 Detail aus 001/002□Nicht
 aufgetriebene Malschicht.
 Malschicht befindet sich
 unmittelbar auf dem Putz,
 darüber Gipskruste

20kV, SMB Pr.28

30 µm

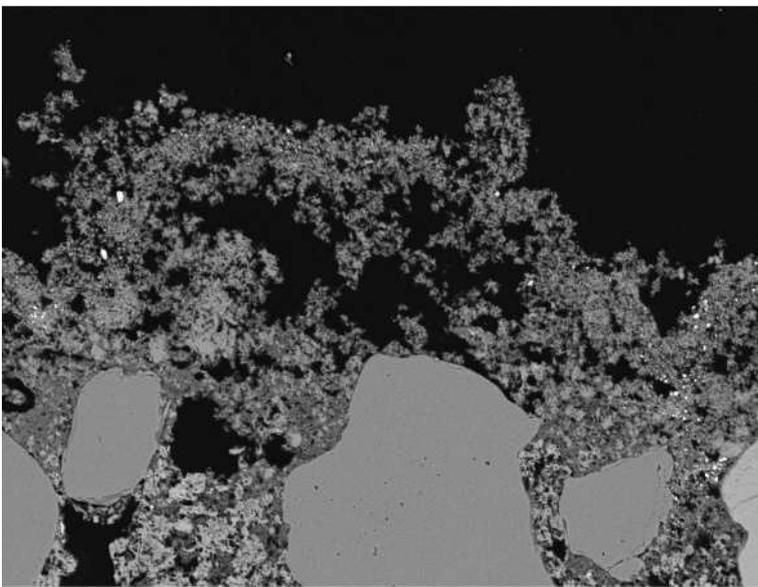
09M0442□016



Probe 29

Abb.:
Detail aus 001 □ etwas anderer
Bildausschnitt und etwas andere
Pol-Stellung als 002

09M0443 □ 003

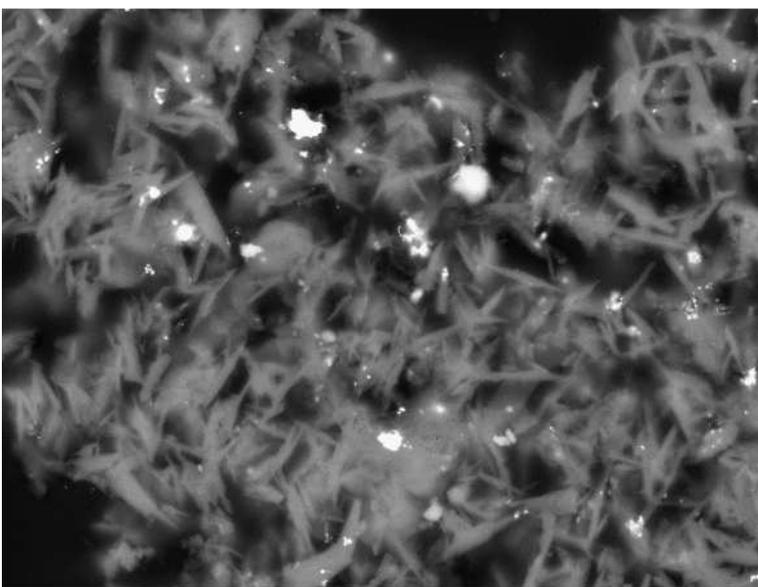


Probe 29

Abb.:
zu PolMi 003 □ Mit Kieselsol
gefestigte stark vergipste
Malschicht auf Putz

20kV, SMB Pr.29 □ 100 μm □

09M0443 □ 005



Probe 29

Abb.:
1. Detail aus 005 (oben Mitte,
"pigmentierte" Gipskruste) □ kein
□ estiger zwischen den
Gipskristallen

20kV, SMB Pr.29 □ 8 μm □

09M0443 □ 006

Probe 29

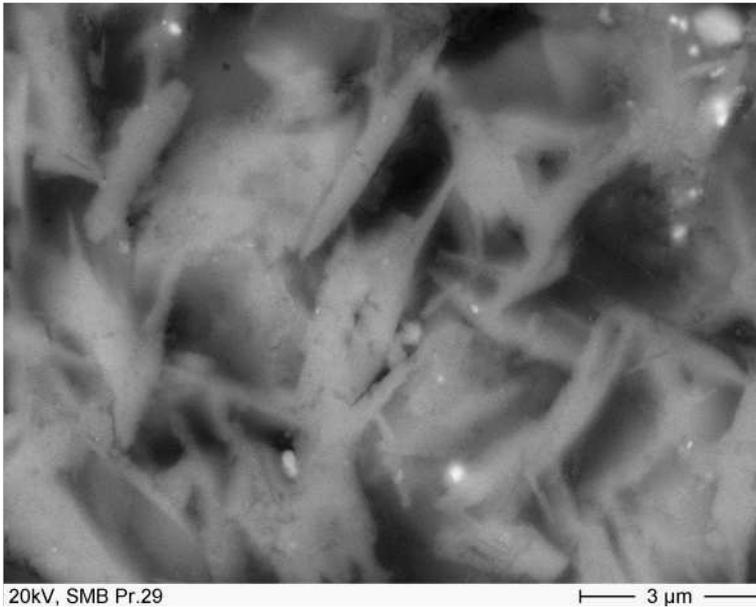


Abb.:
Detail aus 006 kein Ca estiger
zwischen den Gipskristallen

09M0443007

Probe 29

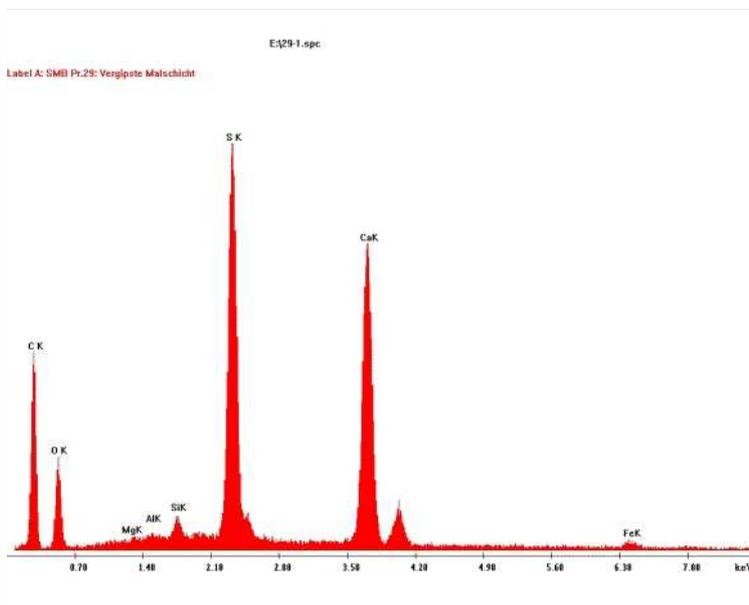


Abb.:
EDX integral über 007 Gips. Si
evtl. vom Ca estiger

09M0443008

Probe 29

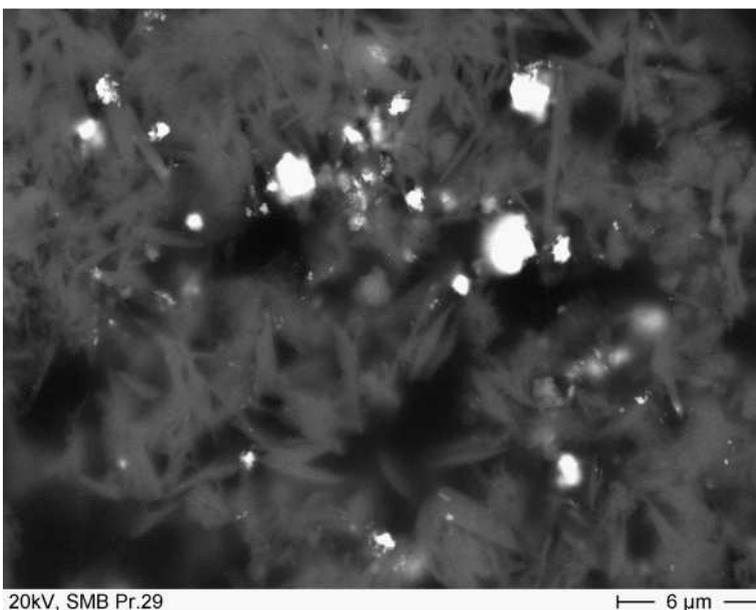


Abb.:
2. Detail aus 005 (untere,
pigmentierte Bereiche) kein
 Ca estiger zwischen den
Gipskristallen

09M0443010

Probe 29

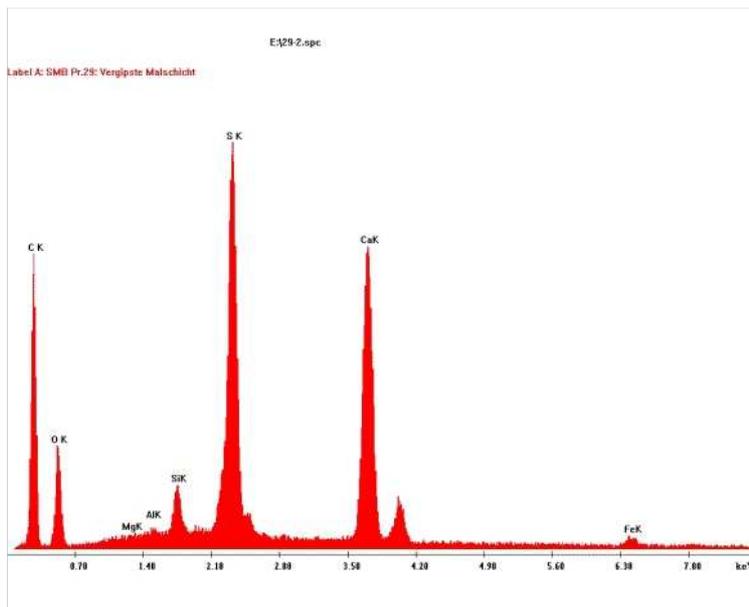
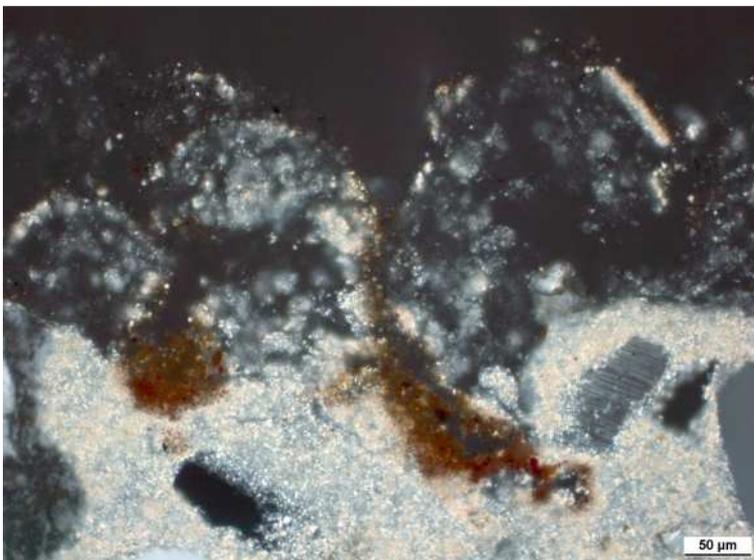


Abb.:
EDX über das Bildfeld in 010.
Gips. Si nicht eindeutig
zuordenbar - kann auch vom
Ocker stammen

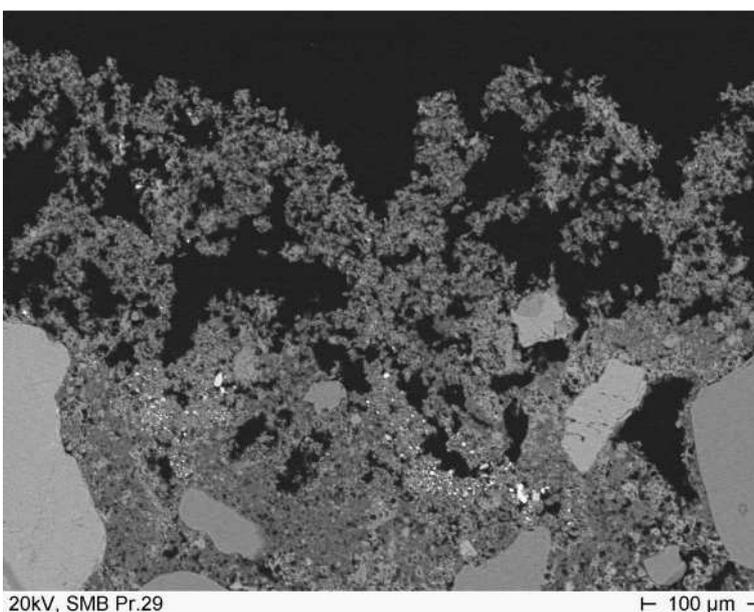
09M0443□012



Probe 29

Abb.:
Malschichtreste auf Putz,
aufliegende Gipskruste,
Kalkpartikel in der Gipskruste

09M0443□004



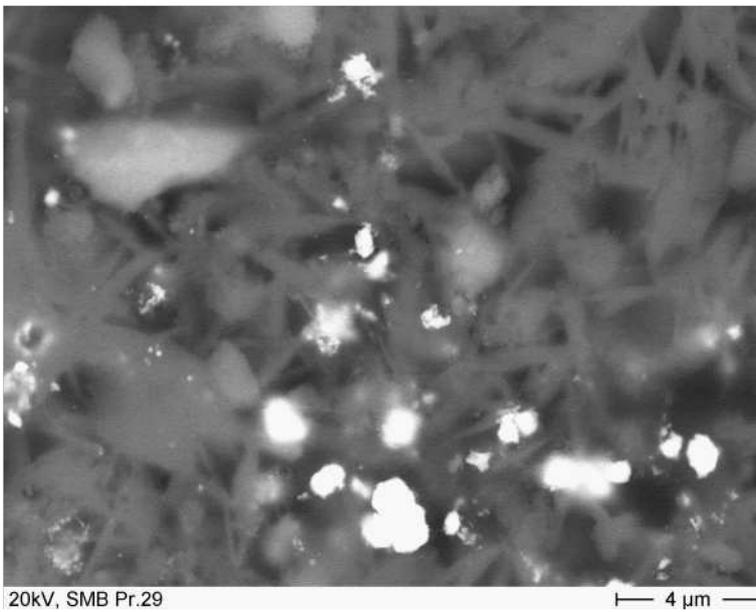
Probe 29

Abb.:
zu PolMi 004□analog 005

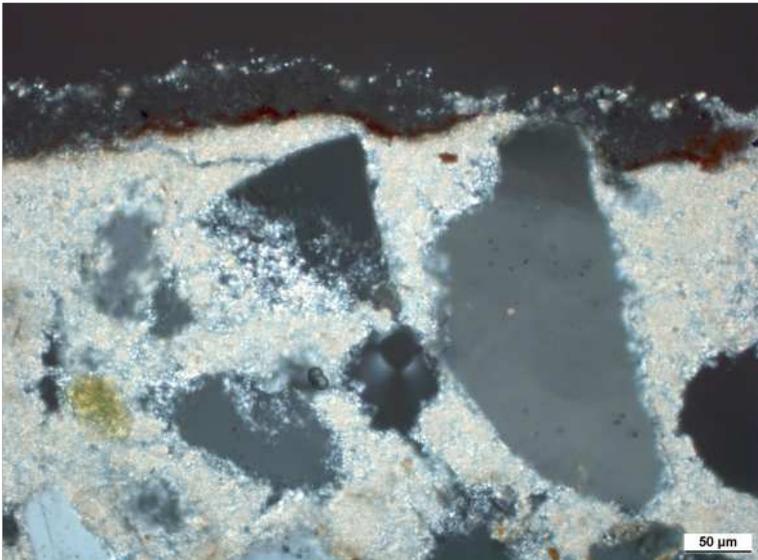
09M0443□013

Probe 29

Abb.:
Detail aus 013 Vergipste
Malschicht in rotem Bereich. Kein
estiger nachweisbar.



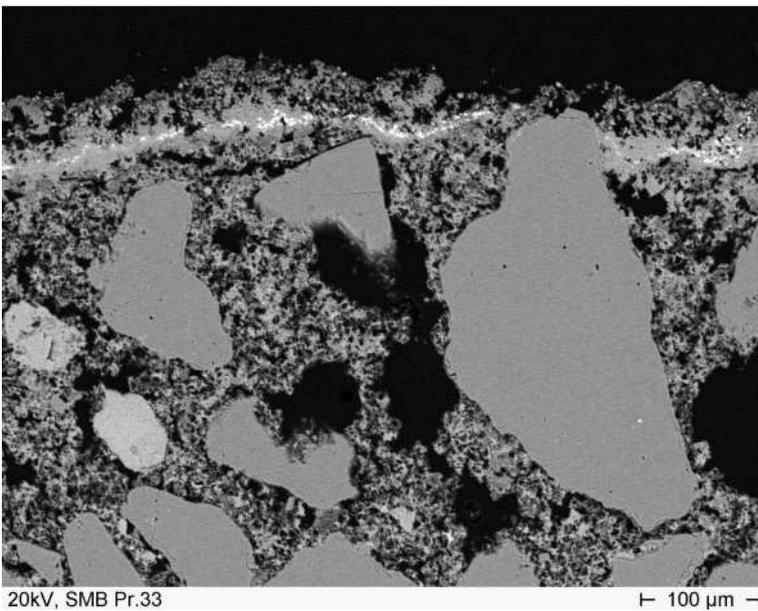
09M0443 014



Probe 33

Abb.:
Rote Malschicht auf Putz,
Auflagerungen auf der
Malschicht

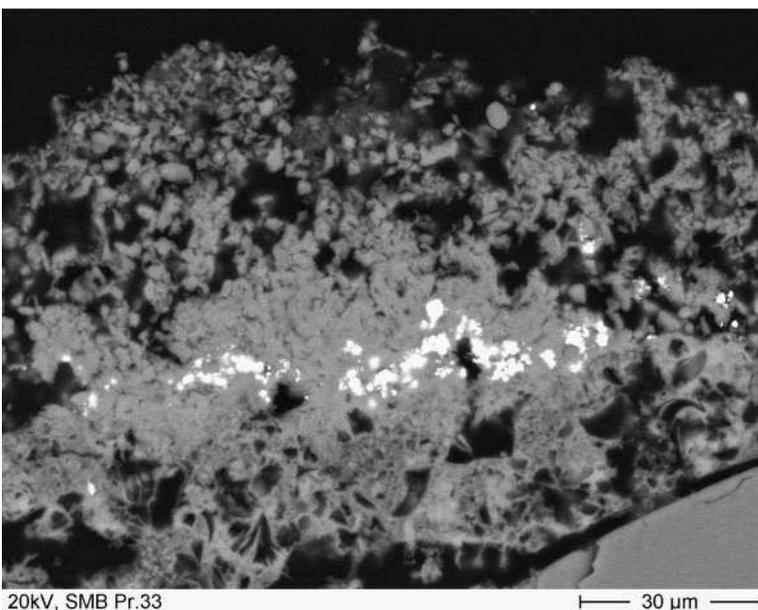
09M0447□002



Probe 33

Abb.:
zu PoIMi 002□Typische
Erscheinungsform der
Vergipsung

09M0447□004



Probe 33

Abb.:
Detail aus 004□Typische
Erscheinungsform der
Vergipsung. Im Bereich der
Malschicht sehr dicht, darüber
por□s

09M0447□005

Probe 33

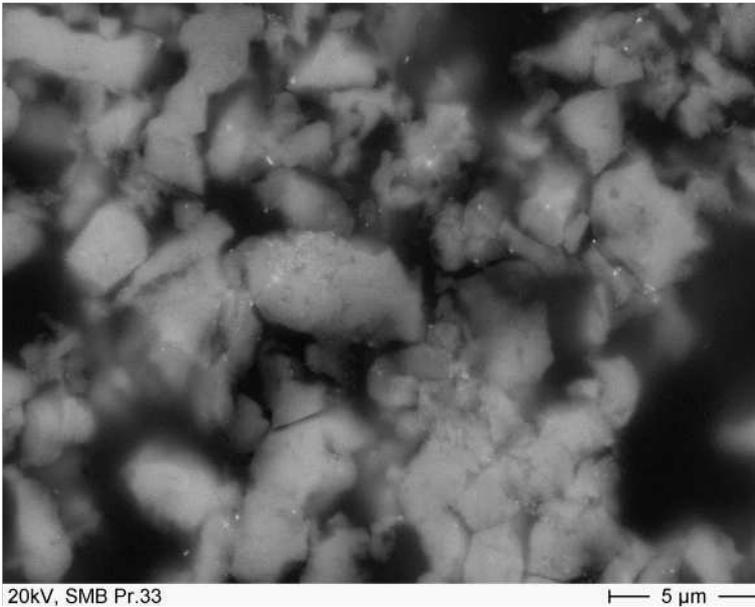


Abb.:
Detail aus 005 Poröse
Gipsschicht. Honigartige
Strukturen in den Zwickeln
vermutlich Plasterer

09M0447006

Probe 33

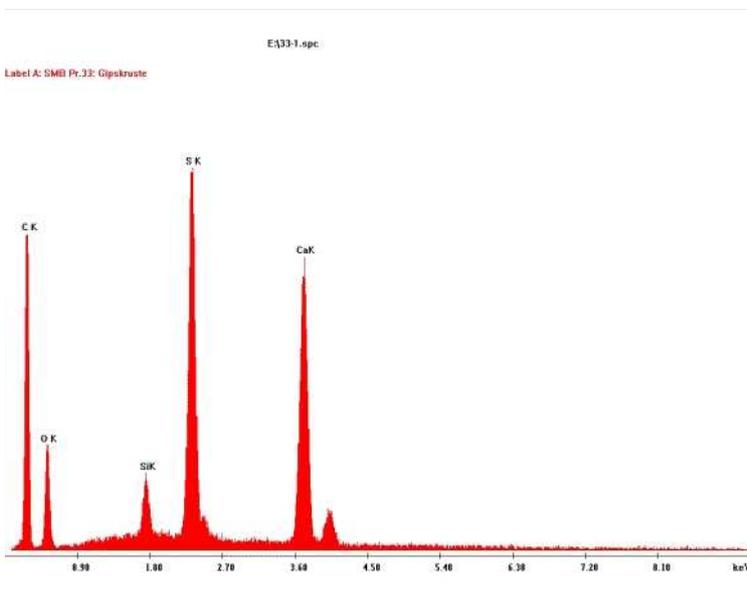


Abb.:
EDX, integral über das Bildfeld in
006 Si stammt wahrscheinlich
vom Plasterer

09M0447007

Probe 33

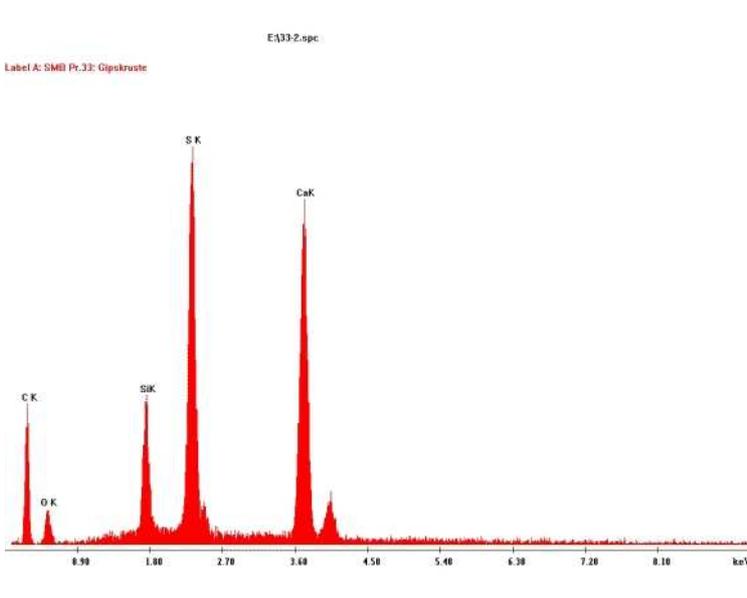


Abb.:
EDX, Spot in den Zwickeln in
006. Höherer Si-Peak als bei
integraler Messung

09M0447010

Probe 33

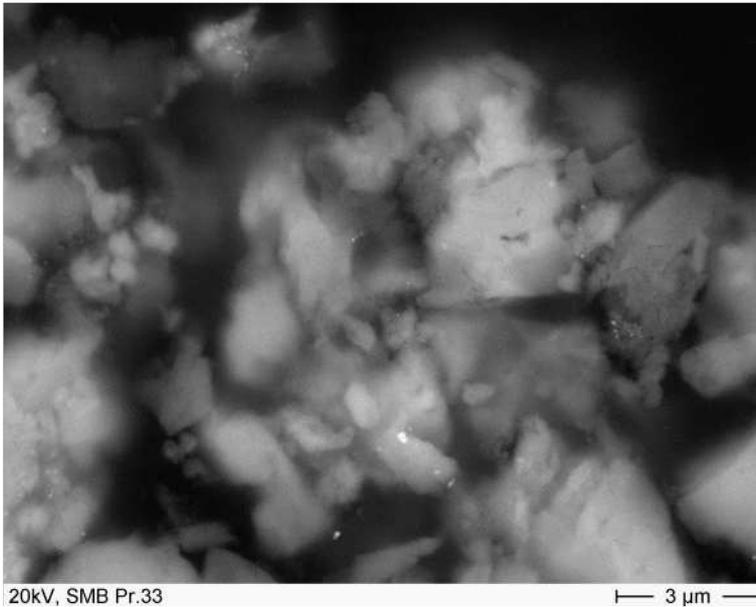


Abb.:

Poröse Gipskruste an anderer Stelle (aus dem Bereich von PolMi 003) Mittel- und dunkelgraue Strukturen sind wahrscheinlich festiger

09M0447011

Probe 33

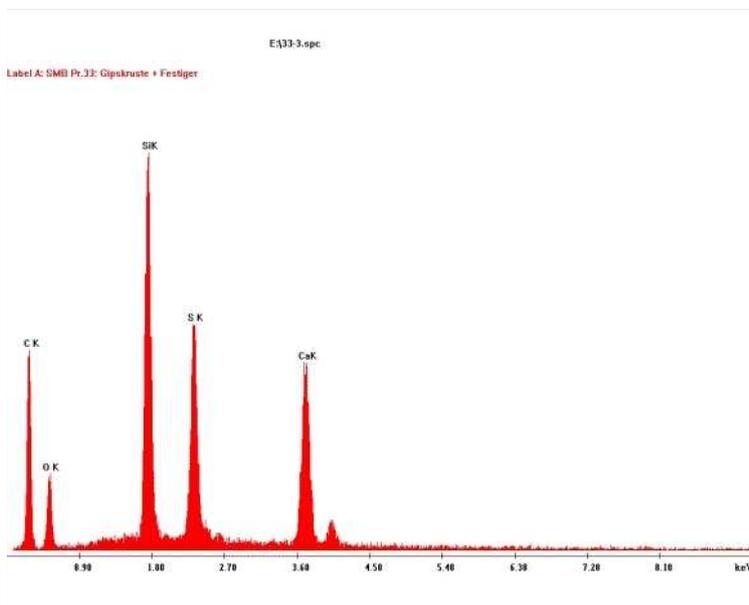


Abb.:

EDX, Spot in den Zwickeln in den dunkelgrauen Strukturen in 011 Si-Peak deutetauf festiger

09M0447013

DBU Projekt St. Marien Bergen Wandmalereiprobe

Datenbank 09M0448

- Probe 34 S W, 2. Szene von oben, rechte Fensterlaibung, Putz um 1900
 MS-Restigung (Tylose + Kieselöl 4%), dann IA-Behandlung (Dowex O_3^{2-} über Japanpapier; ohne Arbocel B 200, aufgestrichen)
Ergebnis
 → Restigung im besonders stark geschädigten Bereich erfolgreich (hält der folgenden Kompressenbehandlung stand)
 → IA-Behandlung pur auf WP zeigt optisch keine Veränderung der dicht verschleierten Oberfläche
Vorzustand
 → aufgetriebene pudernde MS mit weißen Salzen durchsetzt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- Rote Malschicht auf Putz
 - aufgetriebene Gipsschicht mit darin eingeschlossenen Pigmenten
 - oder von Pigmenten durchsetzte Gipsschicht
 - Pigmentüberwiegend Eisenoxidrot und/oder roter Ocker
 - In unmittelbarer Umgebung der Pigmente häufig Kalk (Bestandteil des Pigmentes oder Hinweis auf Maltechnik, Kalk-Secco-Technik)
 - zu wenig zusammenhängende Malschicht, um Spuren einer Restigung finden zu können
 - vergipste Malschicht sehr porös
 - Pigmente gleichmäßig in der porösen Schicht verteilt (Vergipsung hat die Malschicht aufgetrieben)
- Restigung nicht nachweisbar
 → Keine Veränderungen an der Vergipsung (keine Wirkung des IA nachweisbar)
 → Erscheinungsbild der Probe wäre typisch für unbehandelten Ausgangszustand

Datenbank 09M0449

- Probe 35 S W, 2. Szene von oben, rechte Fensterlaibung, Putz um 1900
 MS-Restigung (Tylose + Kieselöl 4%), danach IA-Behandlung (Dowex O_3^{2-} mit Arbocel B 200, über Japanpapier angedrückt)
Ergebnis
 → Restigung im besonders stark geschädigten Bereich erfolgreich (hält der folgenden Kompressenbehandlung stand)
 → Erfolgreiche Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung auf ca. 2/3 der Fläche
Vorzustand
 → aufgetriebene pudernde MS mit weißen Salzen durchsetzt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- keine aufgetriebene Malschicht wie Pr. 34
- vereinzelt dünne Reste einer Malschicht
- Pigmenteüberwiegend Bleipigment, vereinzelt Eisenoxidpigment (nicht näher untersucht)
- hoher Pigmentanteil in der Malschicht (keine Kalktechnik, typisch Secco)

- stellenweise Reste der porösen Gipskruste an der Oberfläche
- auf Malschichtinseln ebenfalls Gips
- in den Malschichtinseln kein Gips
- Innerhalb der Malschicht zwischen den Pigmenten Strukturen, die Kalk enthalten (nicht zu deuten)
- Kalk-Neubildungen nicht sicher nachweisbar
- Festigung nicht nachweisbar
- Gips nicht oder nur teilweise umgewandelt
- nur schwer mit 34 und 36 vergleichbar

Datenbank 09M0450

Probe 36 S/W, 2. Szene von oben, rechte Fensterlaibung, Putz um 1900
MS-Festigung (Tylose + Kieselsol 4%), dann IA-Behandlung (Powdex O3²⁻ mit Arboce B 200 1) über Japanpapier)

Ergebnis

- Festigung im besonders stark geschädigten Bereich erfolgreich (hält der folgenden Kompressenbehandlung stand)
- Erfolgreiche Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung auf ca. 2/3 der Fläche

Vorzustand

- aufgetriebene pudernde MS mit weißen Salzen durchsetzt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- fast überall hohl liegende Auflagerung auf der Malschicht
- Auflagerung auf Malschicht enthalten Si und Ca → wahrscheinlich Kieselsol + Kalk
- keine Hinweise auf Gips
- Malschicht zeigt an vielen Stellen Ablösung und Aufwölbung (Trennung im Putz)
- innerhalb der Malschicht nur sehr vereinzelt Gips (weitgehend gipsfrei)
- Festigung in der Malschicht nicht nachweisbar
- Festigung und Umwandlung an der porösen Vergipsung nachweisbar
- an der Oberfläche poröse, teils hohl liegende Schicht aus Festigungsmittel und sekundär gebildetem Kalk (Umwandlung der gefestigten Vergipsung in Kalk)

Datenbank 09M0451

Probe 37 S, 1. Szene von oben, im roten Gewand, Putz um 1900, Behandlung Probefeld 2008
MS nach Am⁺-Behandlung, danach Bariumhydroxid-Behandlung, danach mind. 3x H₂O-Kompressen

Ergebnis

- visuell kein Unterschied zum Zustand nach der Ammoniumcarbonatbehandlung

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

Datenbank 09M0452

Probe 38 S, 1. Szene von oben, im roten Gewand, Putz um 1900, Behandlung Probefeld 2008
MS nach Am⁺-Behandlung, danach Ammoniumoxalat-Behandlung, danach mind. 3x H₂O-Kompressen
Ergebnis
→ deutlicher Weißschleier nach der Ammoniumoxalatbehandlung; lässt sich nicht entfernen

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

-
-
-
-
-

Datenbank 09M0453

Probe 39 S W, 2. Szene von oben, rechte Fensterlaibung, Putz um 1900
MS-festigung (Kasein), dann IA-Behandlung (Amberlite OH⁻ mit Arbocel B 200 1⁺ über Japanpapier)
Ergebnis
→ festigung im besonders stark geschädigten Bereich erfolgreich (hält der folgenden Kompressenbehandlung nicht gänzlich stand → Verluste bei Abnahme des P)
→ Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung auf ca. 1/4 der Fläche (vor der Probennahme nicht abgekehrt); Weißschleier ließe sich durch Abkehren noch reduzieren
Vorzustand
→ aufgetriebene pudernde MS mit weißen Salzen durchsetzt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- typische aufgetriebene Malschicht (vergleichbar Proben 29 und 34)
 - Schichtdicke bis 300 μ m
 - ehemalige Malschicht ist Bestandteil der Kruste
 - inselartig in poröser Kruste verteilte Pigmente
 - fragiles Gebilde
- festigung weder im PolMi noch im REM erkennbar
- Keine Umwandlung des Gipses
- festigung nicht nachweisbar
- keine Umwandlung des Gipses

Probe 40 S W, 2. Szene von oben, rechte Fensterlaibung, Putz um 1900
MS-Ästigung (Kasein), dann IA-Behandlung (Powdex O₃²⁻ mit Arbocel B 200,
1 über Japanpapier)

Ergebnis

- Ästigung im besonders stark geschädigten Bereich erfolgreich (hält der folgenden Kompressenbehandlung nicht gänzlich stand → Verluste bei Abnahme des P)
- Entfernung des Weißschleiers durch die IA-Behandlung auf ca. 1/3 der Fläche (vor der Probennahme nicht abgekehrt); Weißschleier ließe sich durch Abkehren noch reduzieren

Vorzustand

- aufgetriebene pudernde MS mit weißen Salzen durchsetzt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- keine Unterschiede zu Probe 39 poröse Schicht aus Gips und Pigmenten auf Putz
 - keine Ästigung erkennbar
 - keine Umwandlung des Gipses
- etwas andere Morphologie des Gipses (formenreicher, nicht so ausgeprägt tafelig)
 - Ästigung nicht nachweisbar
 - keine Umwandlung des Gipses
 - identisch Probe 39

Probe 41 S W, 2. Szene von oben, rechte Fensterlaibung, Putz um 1900
MS-Ästigung (Kasein), danach IA-Behandlung (Dowex O₃²⁻ mit Arbocel B 200,
über Japanpapier angedrückt)

Ergebnis

- Ästigung im besonders stark geschädigten Bereich erfolgreich (hält der folgenden Kompressenbehandlung nicht gänzlich stand → keine MS am P)
- durch IA-Behandlung keine Veränderung erkennbar

Vorzustand

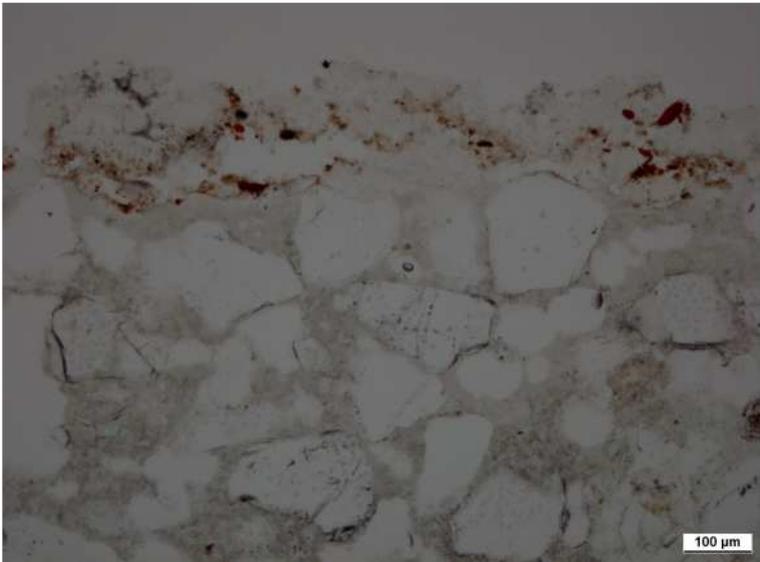
- aufgetriebene pudernde MS mit weißen Salzen durchsetzt

PolMi und REM/EDX am Dünnschliff

- keine Unterschiede zu den Proben 39 und 40 poröse Schicht aus Gips() und Pigmenten auf Putz
 - Malschichtfragmente in poröser Gipskruste
 - innerhalb der Malschichtfragmente kaum Kalk, vollständig vergipst
 - keine Ästigung erkennbar
 - keine Umwandlung des Gipses
- Ästigung nicht nachweisbar
- keine Umwandlung des Gipses
- identisch Proben 39 und 40

Anmerkungen U. Hahn:

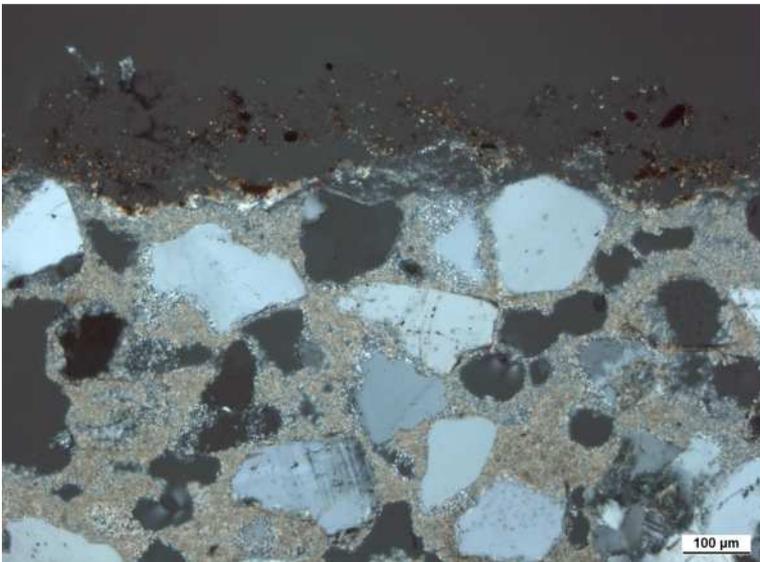
- sämtliche Proben haben mind. 4-5 Stunden eingewirkt; der IA wurde immer über Japanpapier angetragen und mit einer dicken Kompresse aus Arbocel B 1000 feucht gehalten (Ölölbedeckung)
- Dowex O3 2- ist jetzt die durch das Münchner Labor (Dr. Wendler) definitiv vollständig umgeladenen Variante des ehemals chloridbeladenen Produktes; wegen der größeren Körnung dringt dieser IA nicht durch das Japanpapier; er läßt sich allerdings auch etwas schwerer handhaben; was einer der Gründe für die partiell unvollständige Umsetzung des Gipses sein könnte; der Zusatz von ca. 1/4 Anteil Arbocel B 200 scheint die Wirksamkeit zu verbessern (wahrscheinlich wird die Haftung am Untergrund besser gewährleistet)



Probe 34

Abb.:
Malschicht auf Putz. Vermutlich
Gipsreste (Bereich 1)

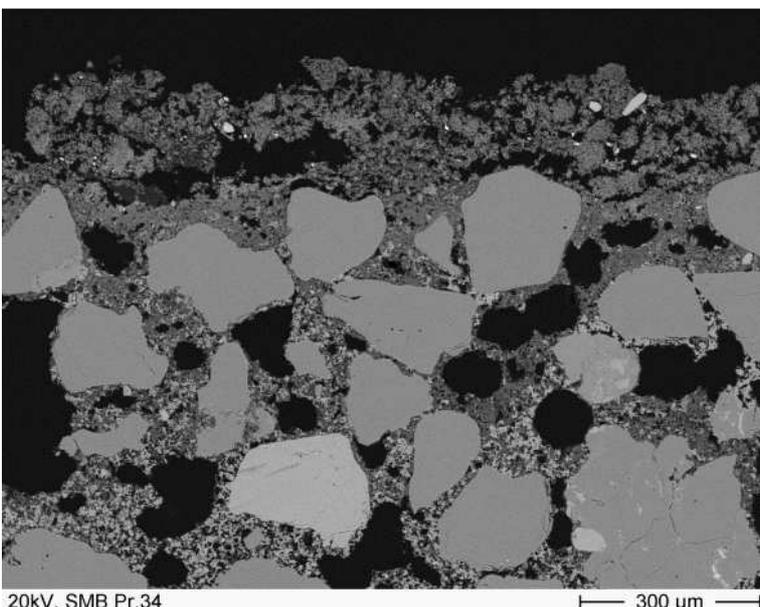
09M0448□001



Probe 34

Abb.:
Malschicht auf Putz. Vermutlich
Gipsreste (Bereich 1)

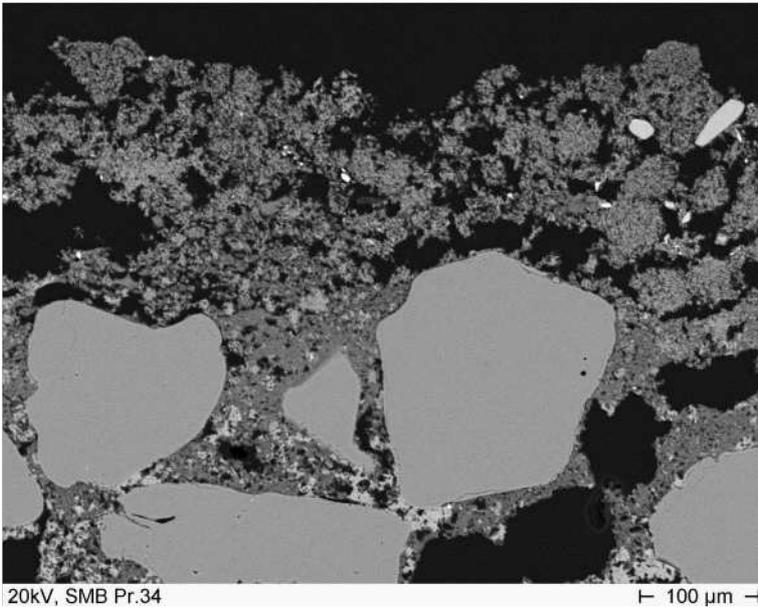
09M0448□002



Probe 34

Abb.:
zu PolMi 001/002

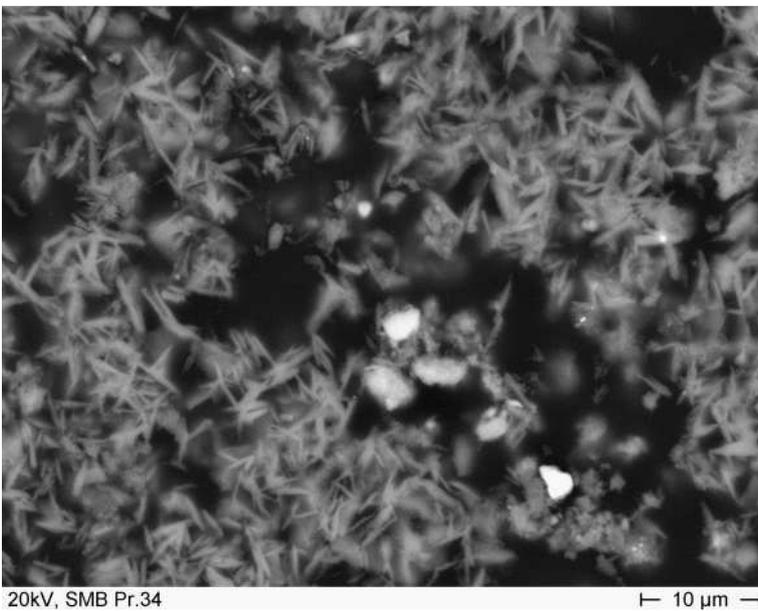
09M0448□009



Probe 34

Abb.:
zu PoImi 003/004. Stark
vergipste aufgetriebene
Malschicht auf Kalkputz

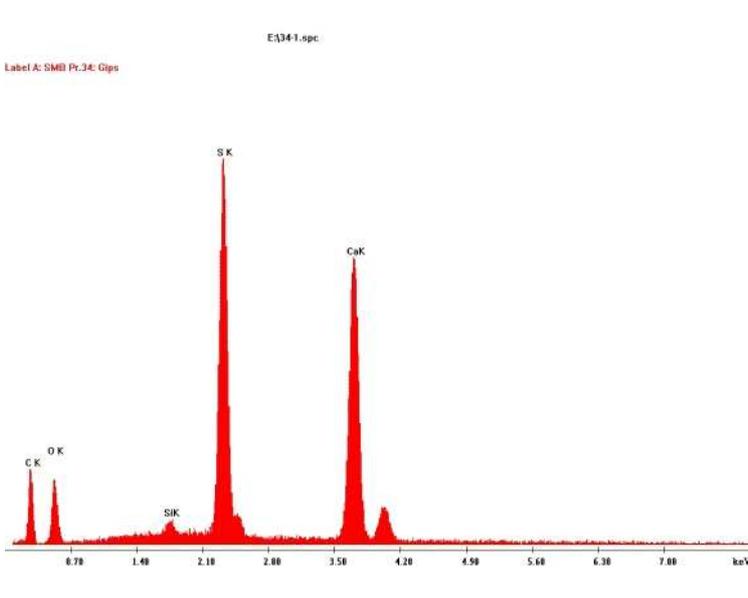
09M0448□010



Probe 34

Abb.:
Detail aus 010□□e-Pigmente in
Gipsmatrix. Keine Hinweise auf
□esigung. Keine Umwandlung
des Gipses

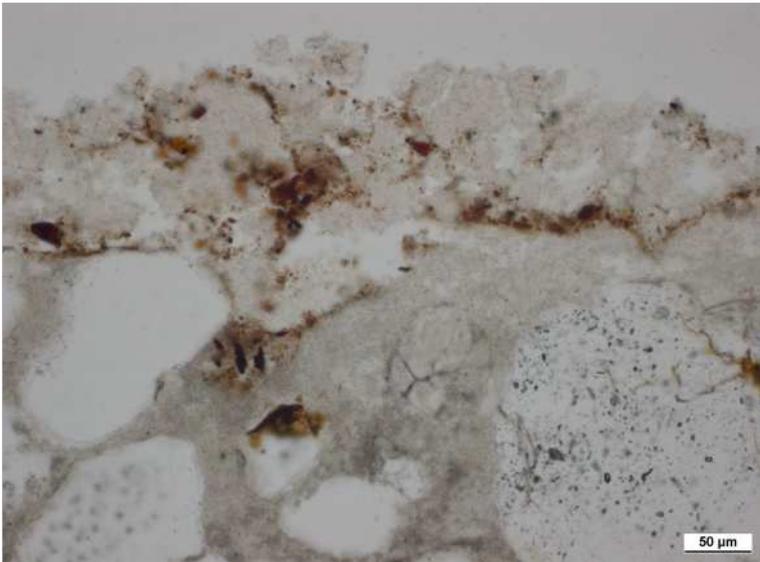
09M0448□011



Probe 34

Abb.:
EDX der leistenf□rmigen
Gipskristalle in 011

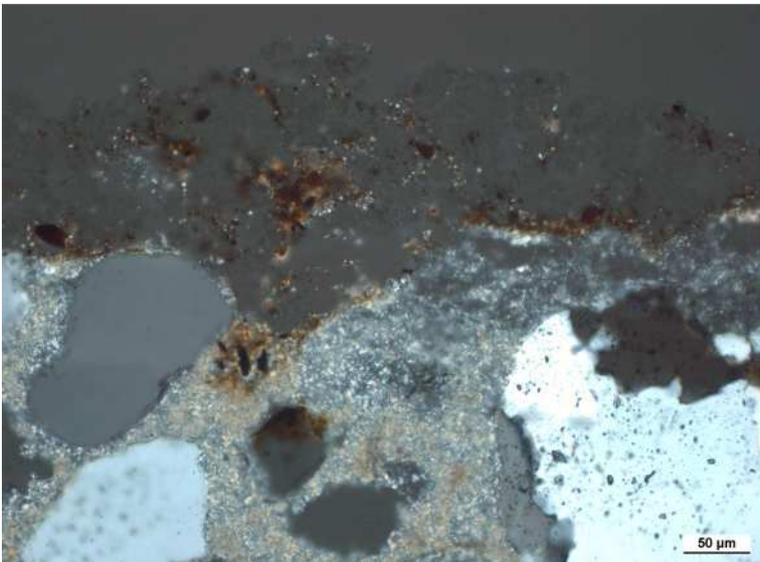
09M0448□012



Probe 34

Abb.:
Malschicht auf Putz. Vermutlich
Gipsreste (Bereich 3)

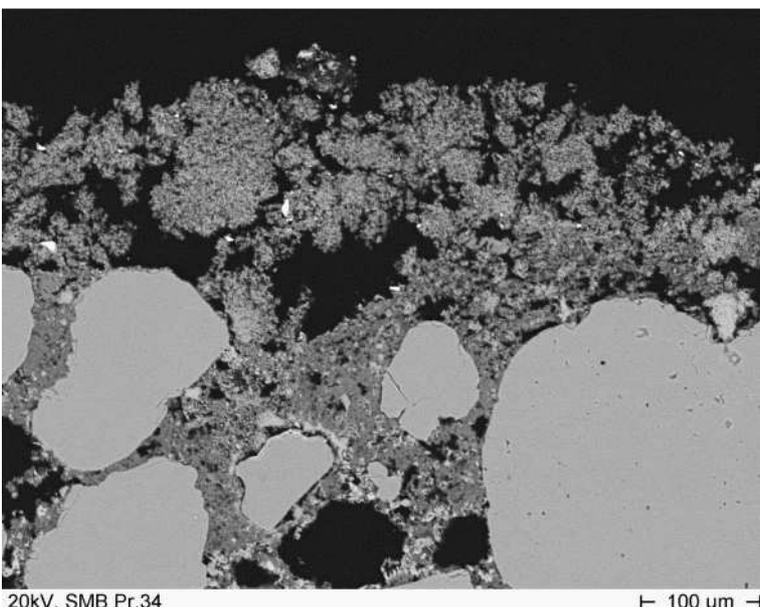
09M0448□007



Probe 34

Abb.:
Malschicht auf Putz. Vermutlich
Gipsreste (Bereich 3)

09M0448□008



Probe 34

Abb.:
zu PolMi 007/008

09M0448□014

Probe 34

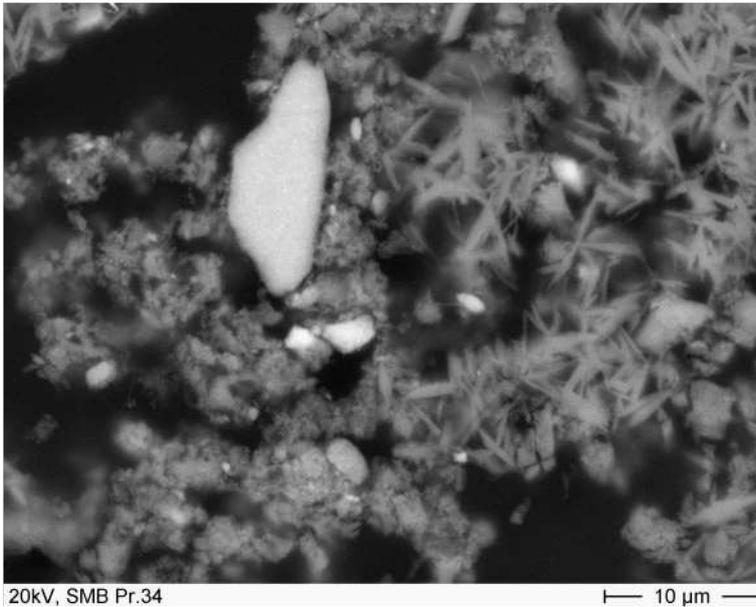


Abb.:

Detail aus 014. Keine Hinweise auf Malschichtfestigung. Helle Körner = e-Pigmente. Rechte Bildhälfte = Gipskristalle. Linke Bildhälfte = Kalk mit rotem Ocker

09M0448 015

Probe 34

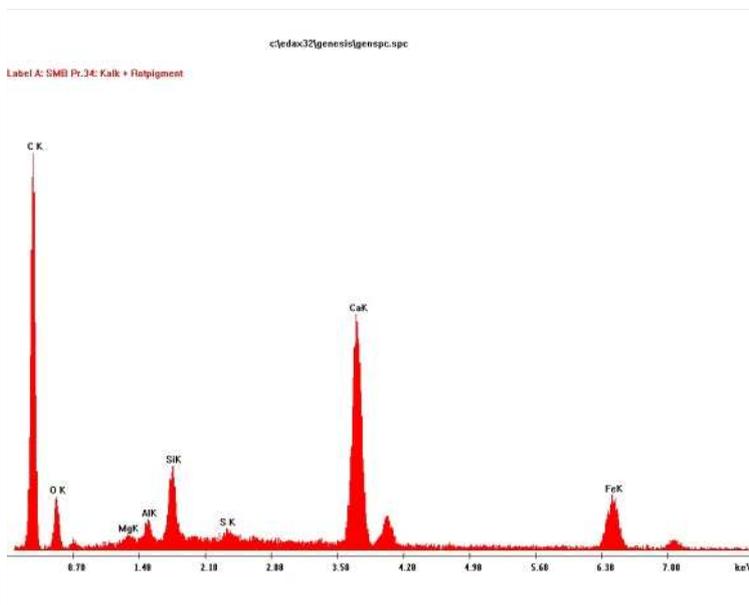
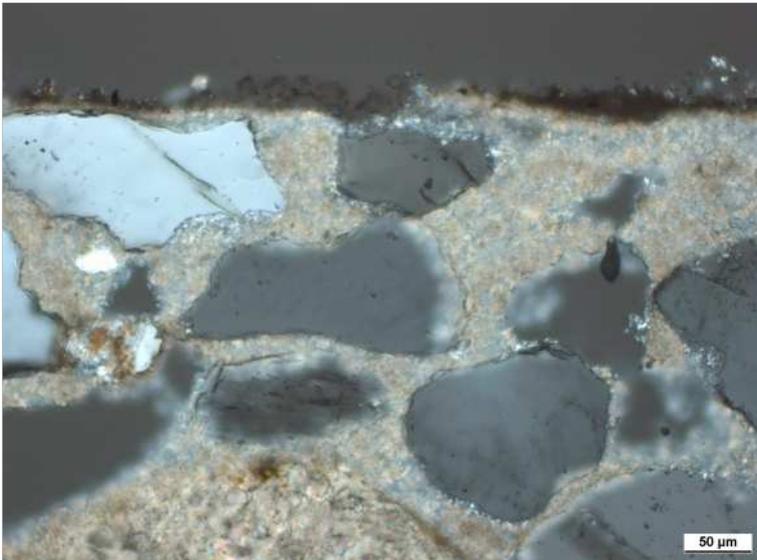


Abb.:

EDX der feinkörnigen Bestandteile in der linken Bildhälfte con 015 = Kalk = roter Ocker

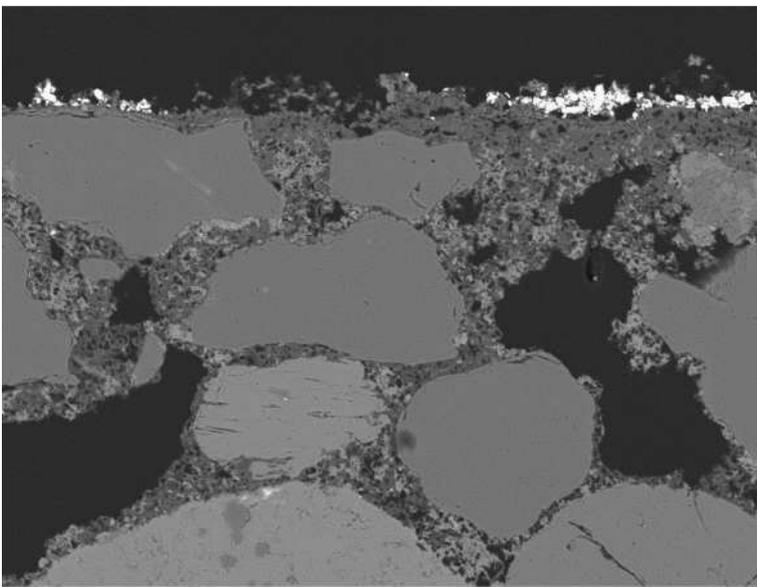
09M0448 016



Probe 35

Abb.:
Malschicht auf Putz

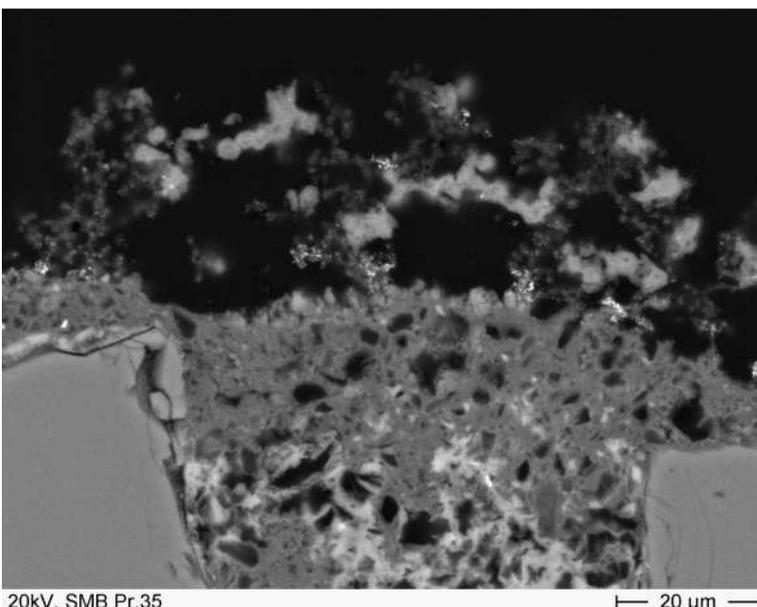
09M0449□001



Probe 35

Abb.:
zu PoIMi 001 □ Putz mit Resten
der Malschicht und
Gipsauflagerungen (□ blickt zu
004 und 005)

09M0449□003



Probe 35

Abb.:
1. Detail aus 003 □ Por□se
Gipskruste auf Putz. Keine
Malereireste an dieser Stelle
(Gips auf Putz)

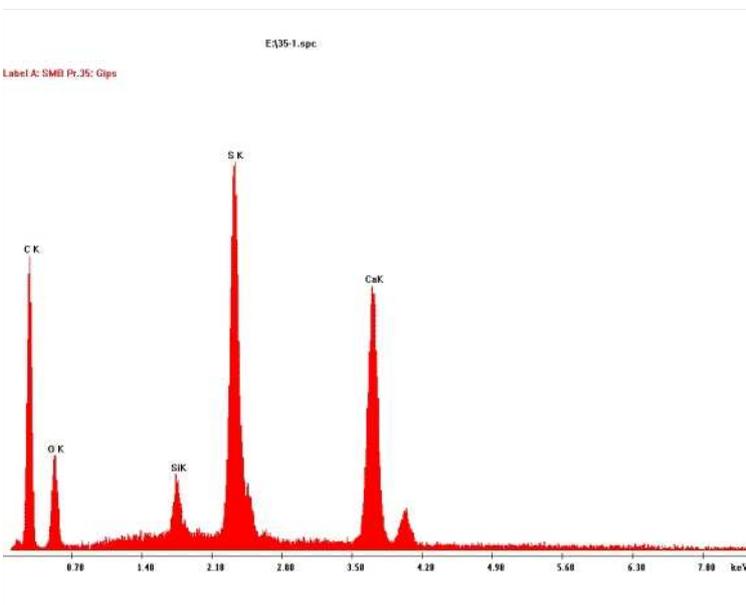
09M0449□004



Probe 35

Abb.:
 2. Detail aus 003 Malschicht auf Putz. Die Schicht besteht überwiegend aus Pigmentkörnern. In der oberen rechten Bildecke sind Gipskristalle zu erkennen

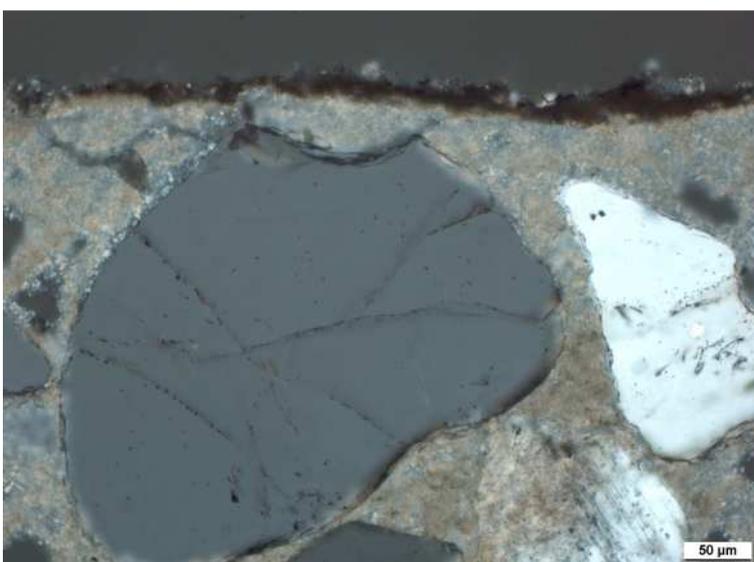
09M0449 005



Probe 35

Abb.:
 EDX der Gipskristalle in 005

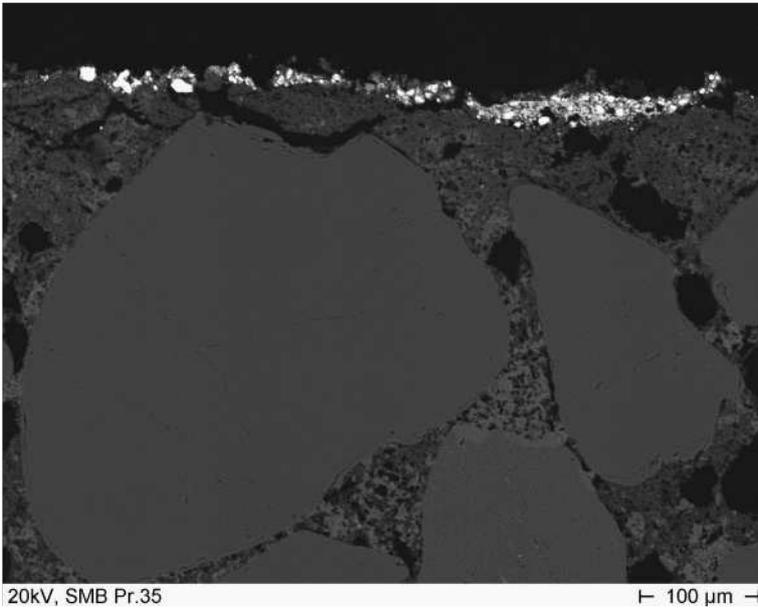
09M0449 006



Probe 35

Abb.:
 Malschicht auf Putz

09M0449 002



Probe 35

Abb.:
zu PoIMi 002 Malschicht auf
Putz. bersicht zu 009 und 010.

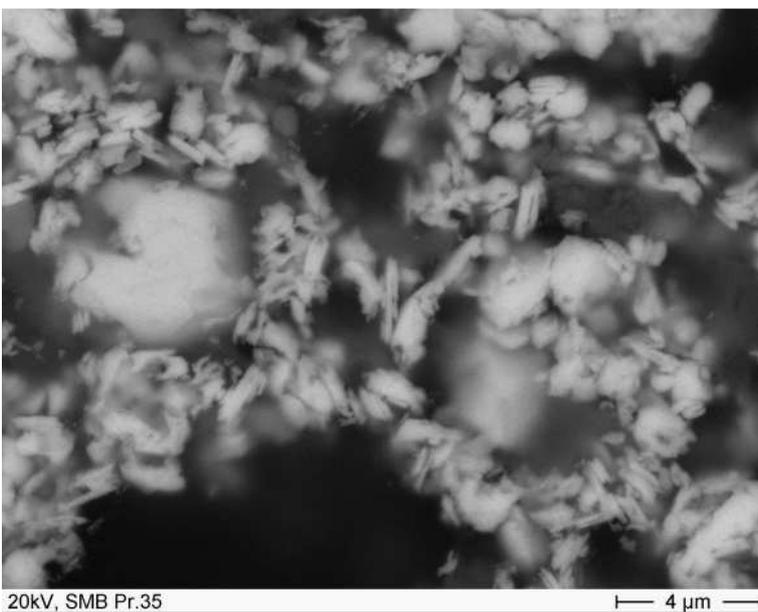
09M0449 008



Probe 35

Abb.:
Detail aus 008 Malschicht (Pb-
Pigmente) auf Putz. Auf der
Malschicht sind Gipskristalle
vorhanden.

09M0449 009



Probe 35

Abb.:
Detail aus 009 Die Malschicht
besteht fast ausschließlich aus
Pigment. Kein kristalliner Kalk
oder Gips. Die grauen
filamentartigen Bestandteile
zwischen den Pigmentkörnern
liefern entweder ein
Ockerpigmentspektrum oder Pb-
Pigment a

09M0449 010

Probe 35

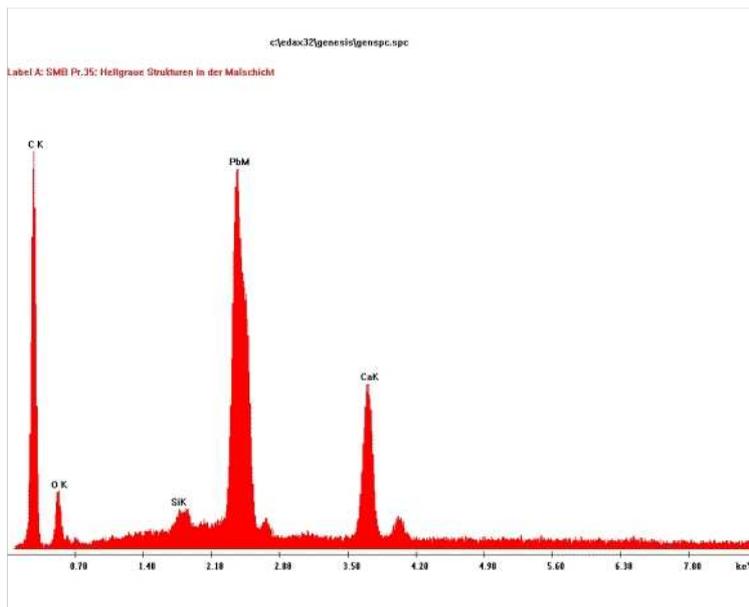


Abb.:
EDX der hellgrauen, filmartigen
Strukturen zwischen den
Bleipigmenten in 010

09M0449□011

Probe 36

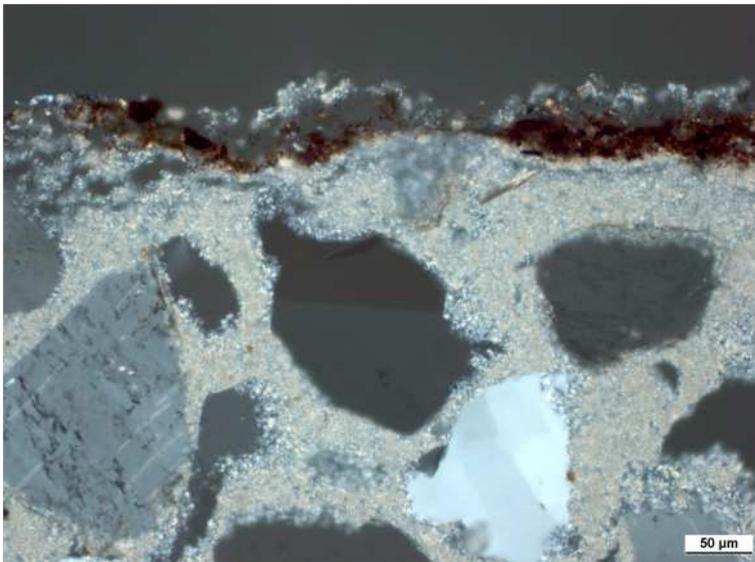


Abb.:
Teilstück 1. Rote Malschicht auf
□ Putz mit hohl liegender
Auflagerung

09M0450□001

Probe 36

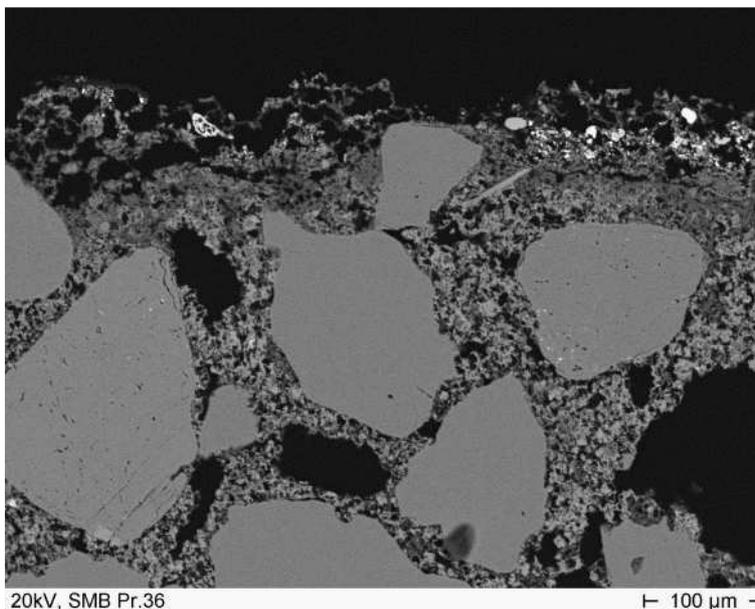


Abb.:
zu PoIMi 001 □ Malschicht auf
Putz. Auflagerungen auf der
Malschicht

09M0450□004

Probe 36

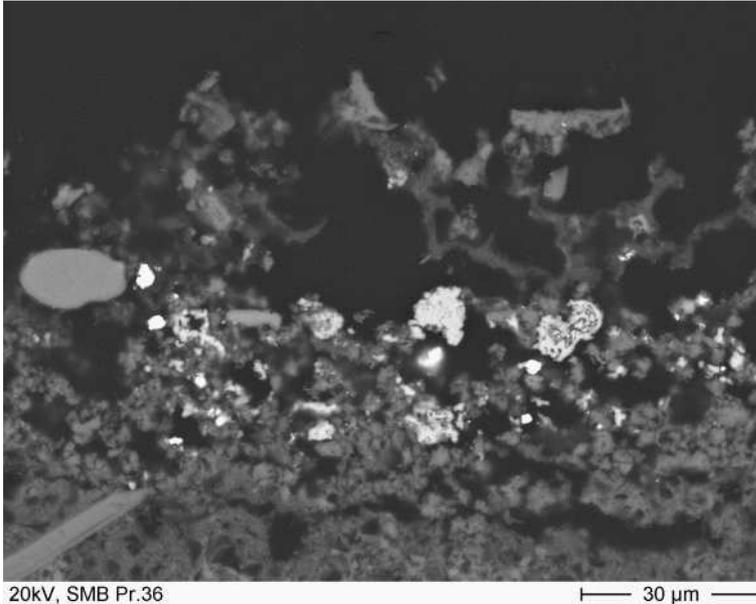


Abb.:

Detail aus dem oberen rechten Bildteil von 004□Malschicht mit filigranen Auflagerungen.

09M0450□005

Probe 36

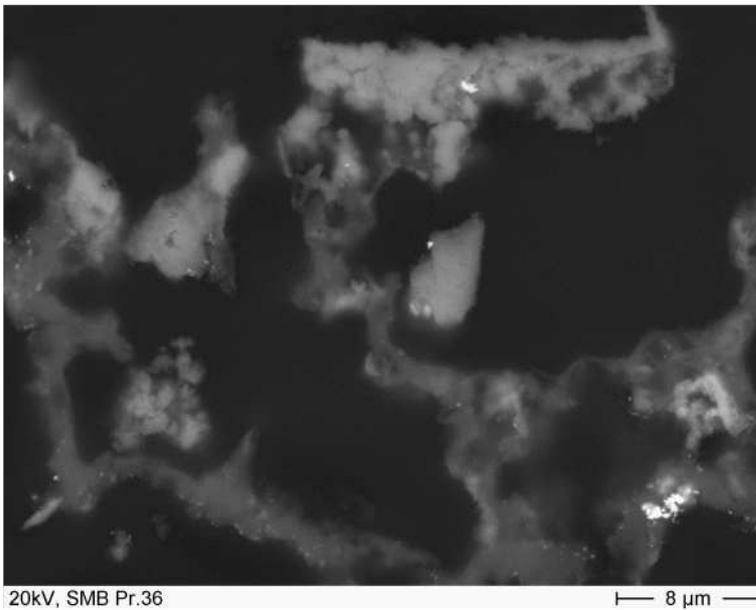


Abb.:

Detail aus 005□□iligrane Auflagerungen. Die dunkleren Strukturen sind das Festigungsmittel (Kieselso); EDX 007□008; die hellen Strukturen sind Kal, EDX 009□010

09M0450□006

Probe 36

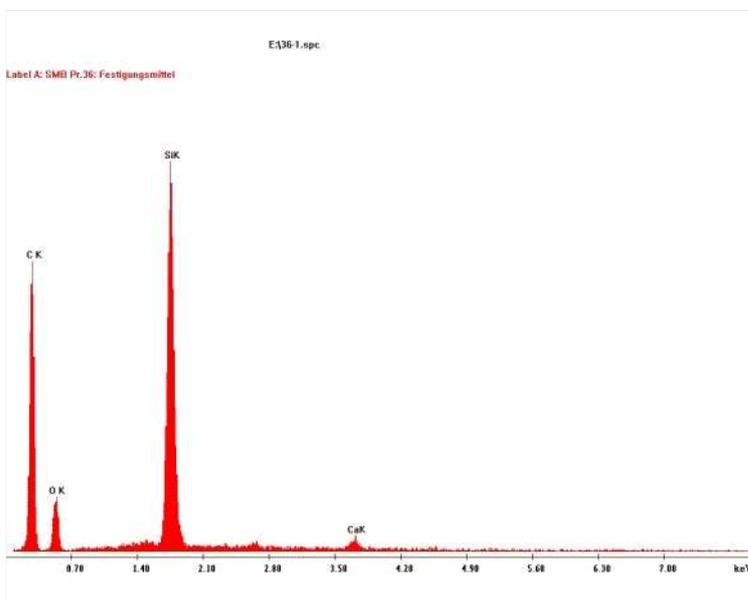


Abb.:

EDX der dunkleren Strukturen in 006□□estigungsmittel Kieselso

09M0450□007

Probe 36

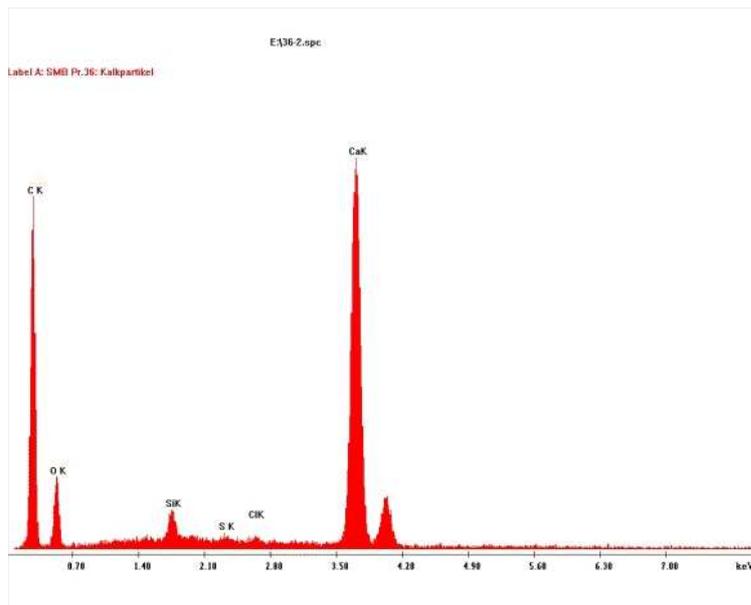


Abb.:

EDX der hellen Strukturen in
006 Kalk

09M0450 009

Probe 36

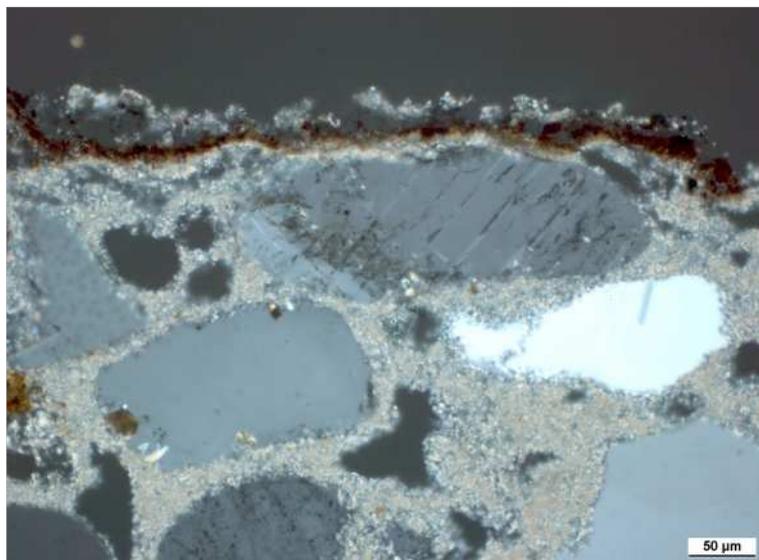


Abb.:

Teilstück 1. Rote Malschicht auf
Putz mit hohl liegender
Auflagerung. Malschicht teilweise
aufgewölbt

09M0450 002

Probe 36

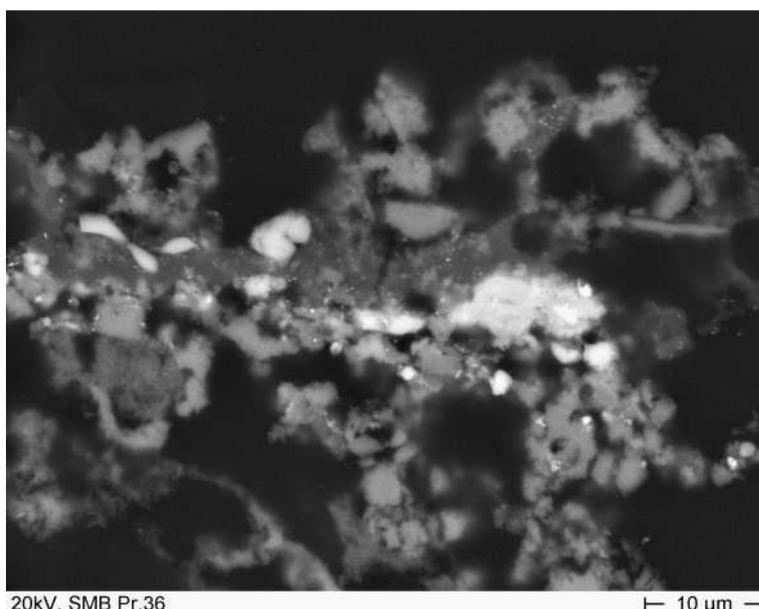


Abb.:

Detail aus der oberen rechten
Bildecke der Malschicht in 002
Pigmente, Festigungsmittel und
Kalkpigment

09M0450 011

Probe 36

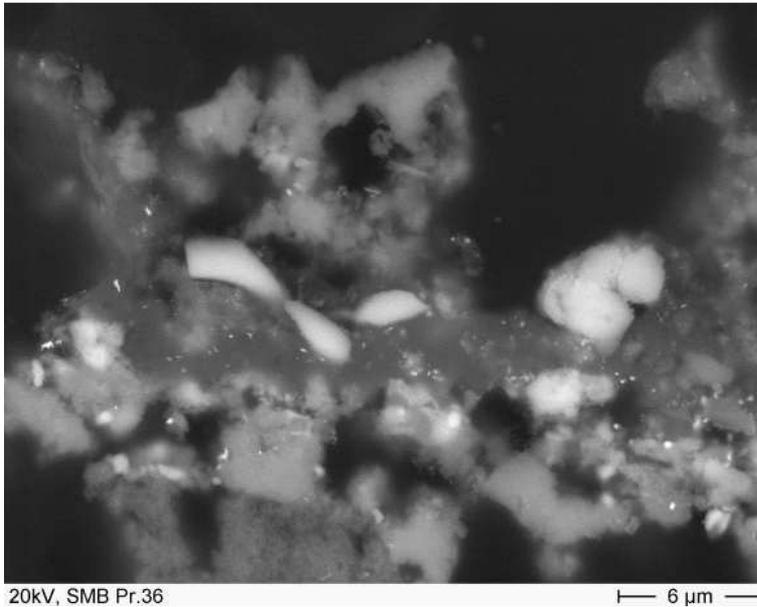
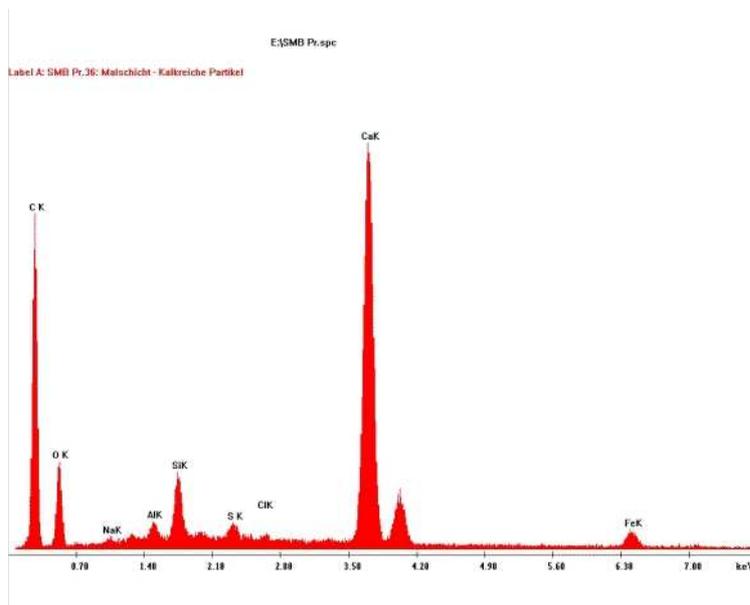


Abb.:

Detail aus 011 – Durch die Bildmitte zieht sich ein Band –festigungsmittel, in dem die Pigmente eingebunden sind. Die hellgrauen Strukturen sind kalkreich, enthalten aber stets Okcer (EDX –013 –014). Die weißen Körner sind die Pigmente

09M0450 –012

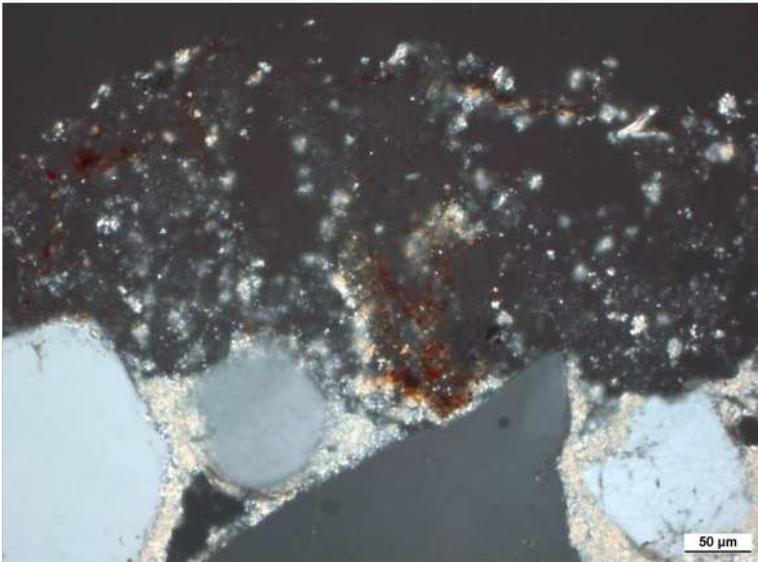


Probe 36

Abb.:

EDX der hellgrauen Strukturen in 012 –Kalk – Ocker

09M0450 –014

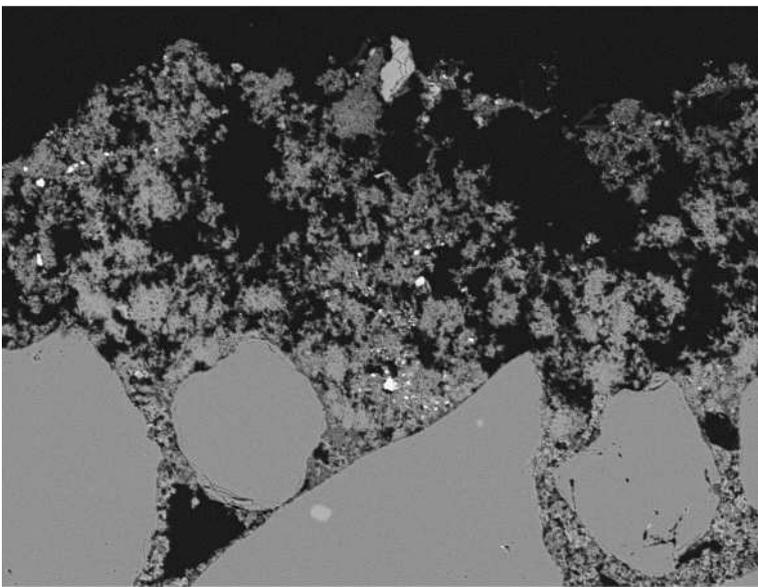


Probe 39

Abb.:

1. Detail aus 001
Kaseingefestigte rote Malschicht auf Putz. Pigmente inselartige über den gesamten Querschnitt der Schicht verteilt

09M0453002

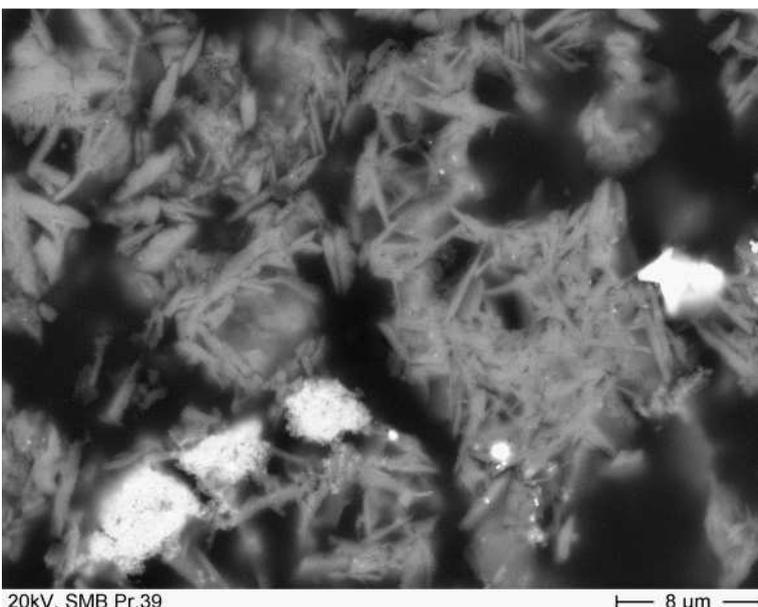


Probe 39

Abb.:

zu PoIMi 002
Kaseingefestigte, vergipste Malschicht auf Putz

09M0453006



Probe 39

Abb.:

1. Detail aus 006 (oben links)
Kein Bindungsmittel erkennbar, keine Gipssumwandlung

09M0453007

Probe 39

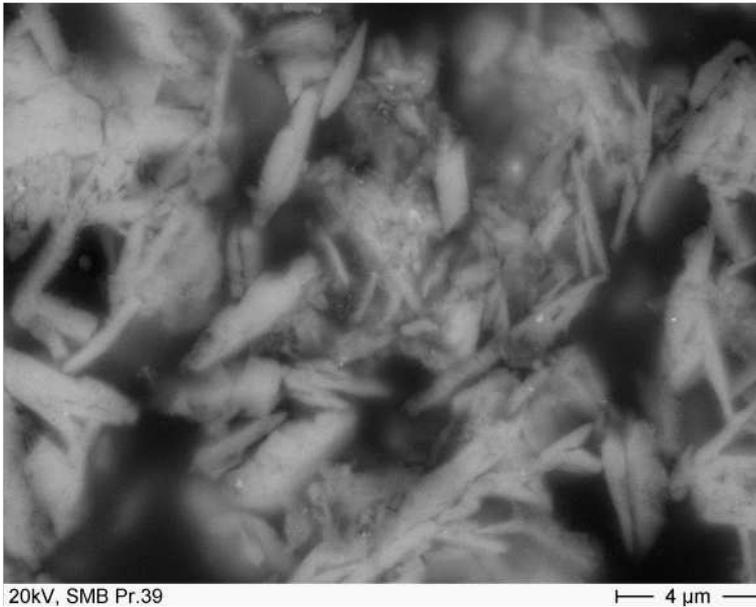


Abb.:
Detail aus 007 □ Kein
□estigungsmittel erkennbar,
keine Gypsumwandlung

09M0453 □008

Probe 39

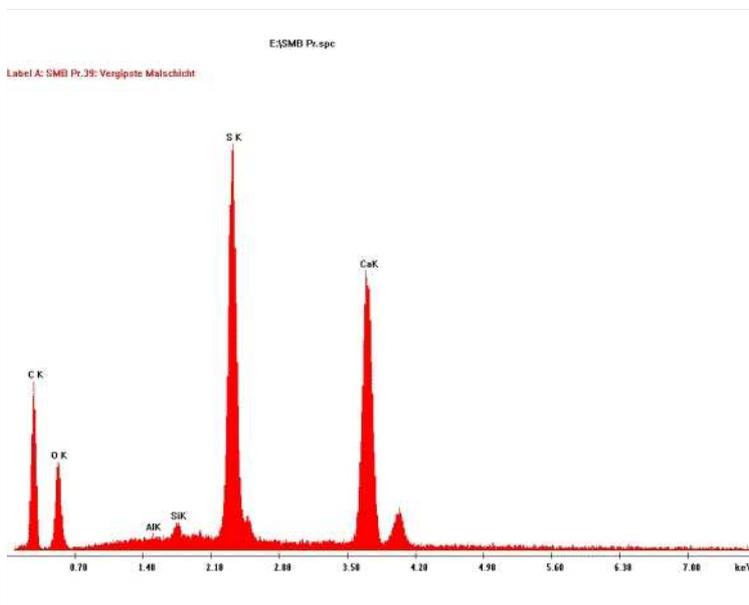


Abb.:
EDX über das Bildfeld in 008 □
Gips

09M0453 □009

Probe 39

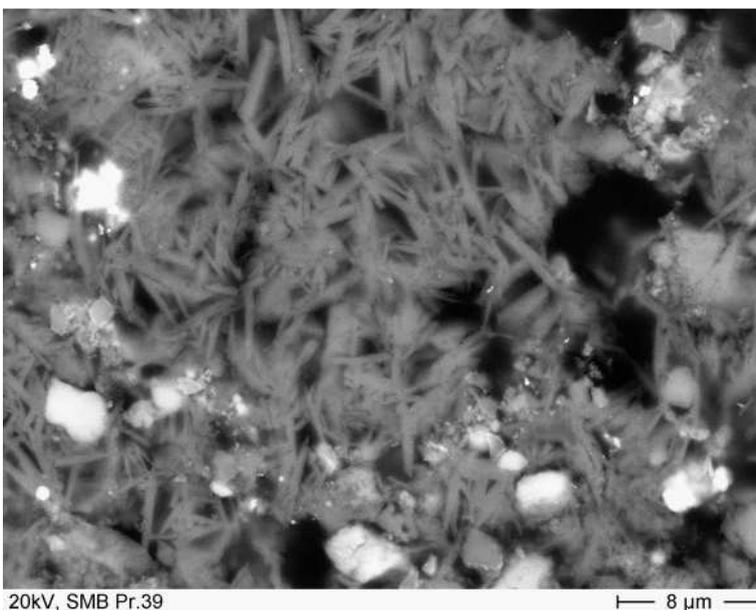
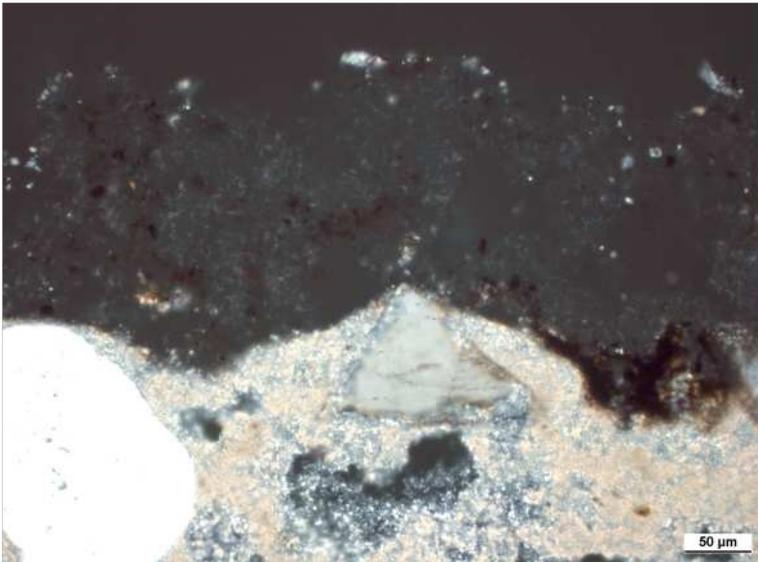


Abb.:
2. Detail aus 006 □ Unterer
Bereich der Malschicht. Keine
□estigung erkennbar. Keine
Gypsumwandlung

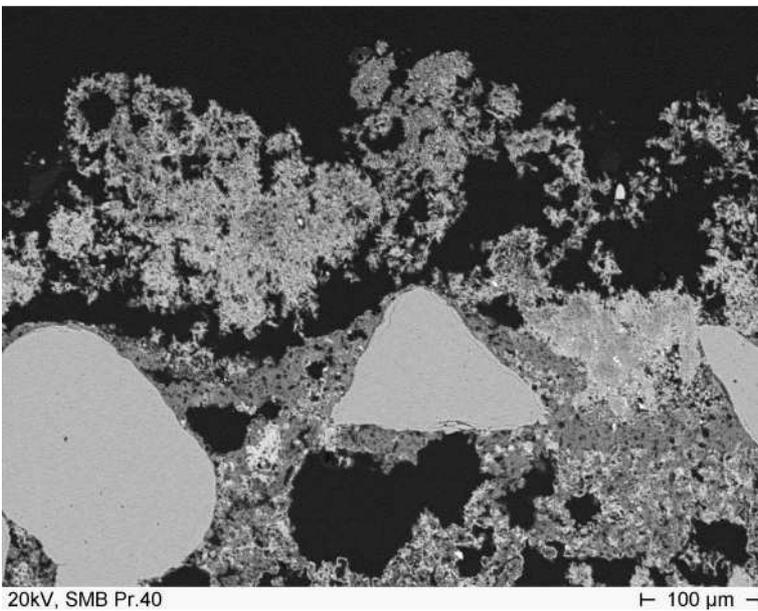
09M0453 □011



Probe 40

Abb.:
Teilstück 1 – Vergipste Malschicht
auf Putz. Pigmentkörnchen
inselartige in der Schicht verteilt.

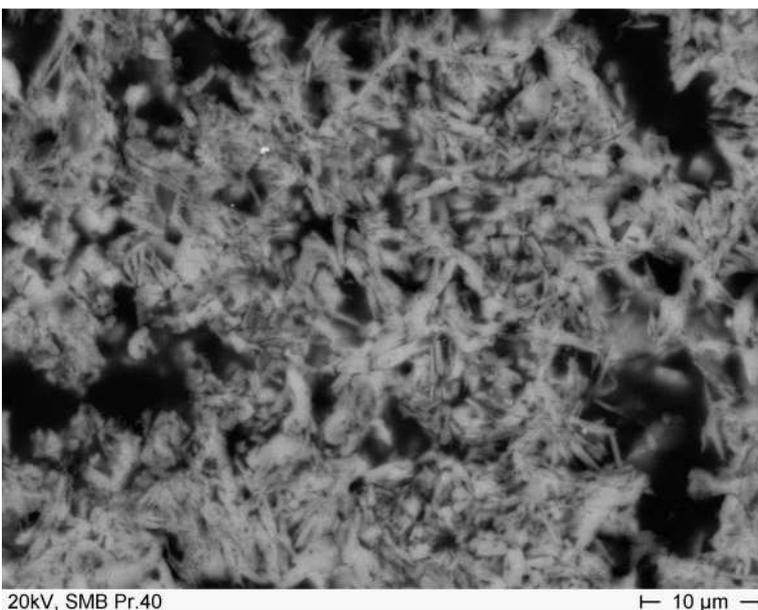
09M0454-001



Probe 40

Abb.:
zu PolMi 001 – Mit Kasein
gefestigte, vergipste Malschicht
auf Putz

09M0454-004



Probe 40

Abb.:
1. Detail aus 004 (oben links) –
Gips. Kein Bindungsmittel,
keine Umwandlung

09M0454-005

Probe 40

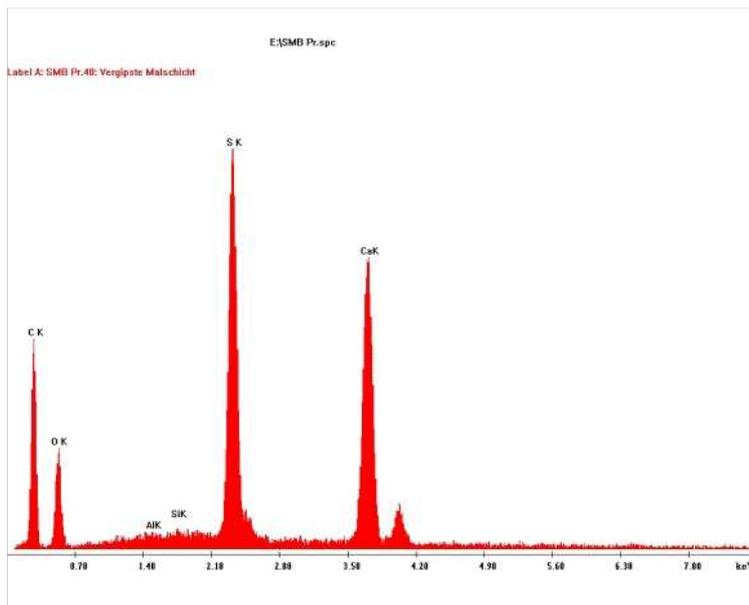
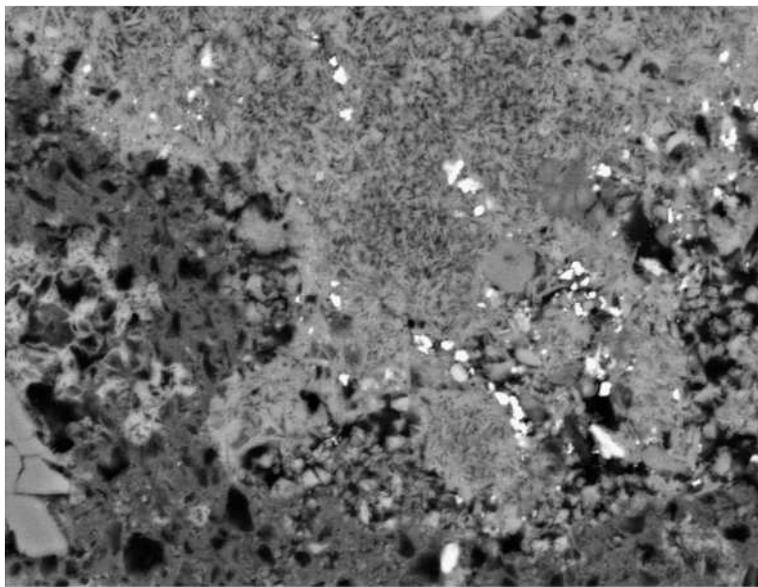


Abb.:
EDX über das Bildfeld in 005
Gips

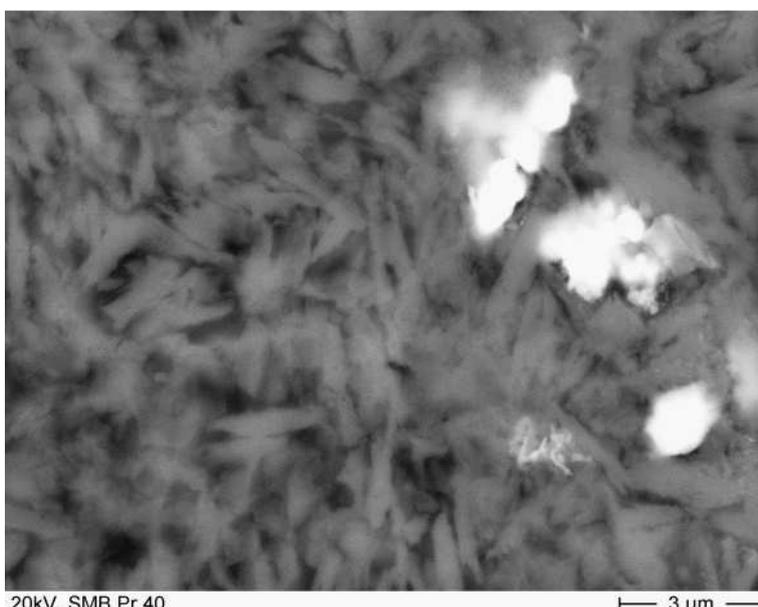
09M0454006



Probe 40

Abb.:
2. Detail aus 004
Unterer Abschnitt der vergipsten
Malschicht im Kontakt mit dem
Putz

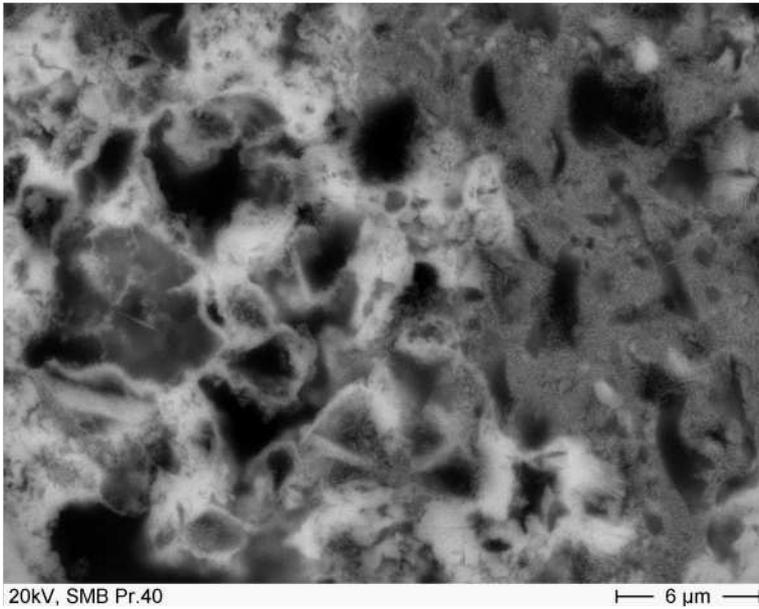
09M0454008



Probe 40

Abb.:
1. Detail aus 008
Gips in der
Malschicht mit darin
eingeschlossenen Pigmenten.
Keine Kristallisation erkennbar, keine
Umwandlung des Gipses

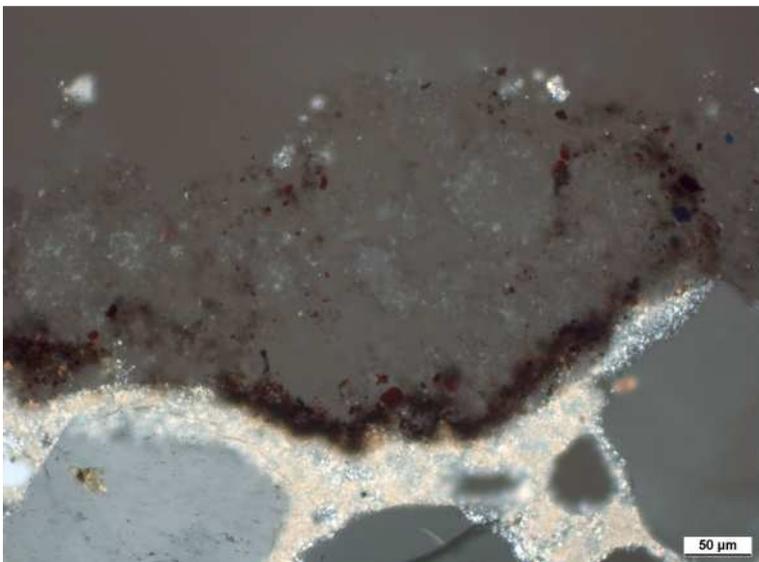
09M0454009



Probe 40

Abb.:
2. Detail aus 008 □ Versinterter
Kalkputz unmittelbar unter bzw.
neben der Malschicht

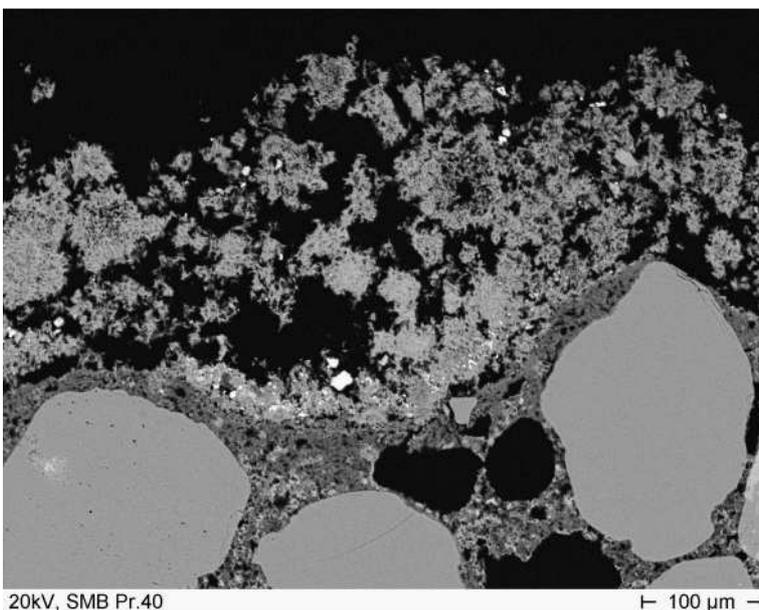
09M0454 □ 010



Probe 40

Abb.:
Teilstück 2 □ Vergipste Malschicht
auf Putz. Pigmentk □ rner
überwiegend am unteren Rand
der Schicht

09M0454 □ 002

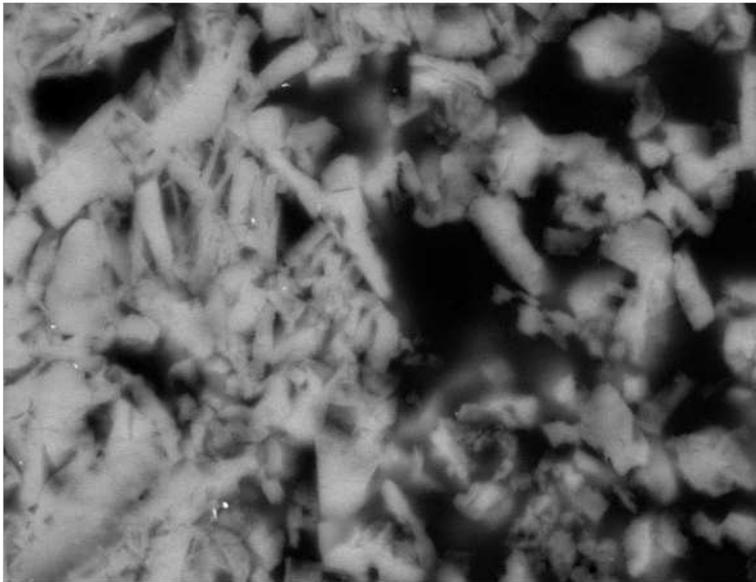


Probe 40

Abb.:
zu PolMi 002 □

09M0454 □ 011

Probe 40



20kV, SMB Pr.40

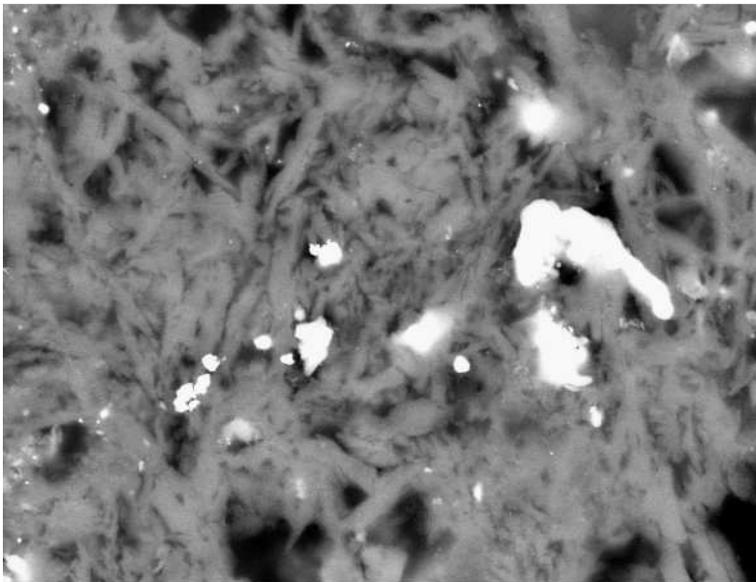
6 µm

Abb.:

1. Detail aus 011 Vergipste Malschicht im oberen, porösen Abschnitt

09M0454 012

Probe 40



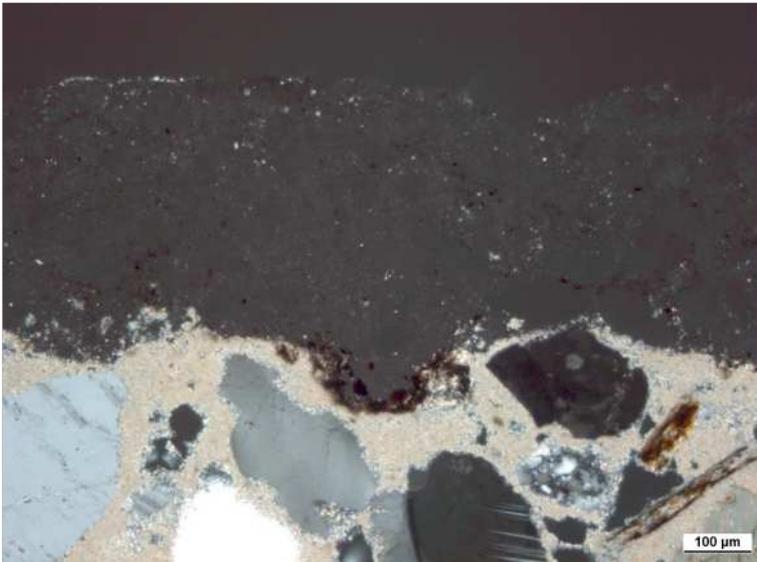
20kV, SMB Pr.40

6 µm

Abb.:

2. Detail aus 011 Vergipste Malschicht im unteren, dichten Abschnitt unmittelbar über dem Putz

09M0454 013

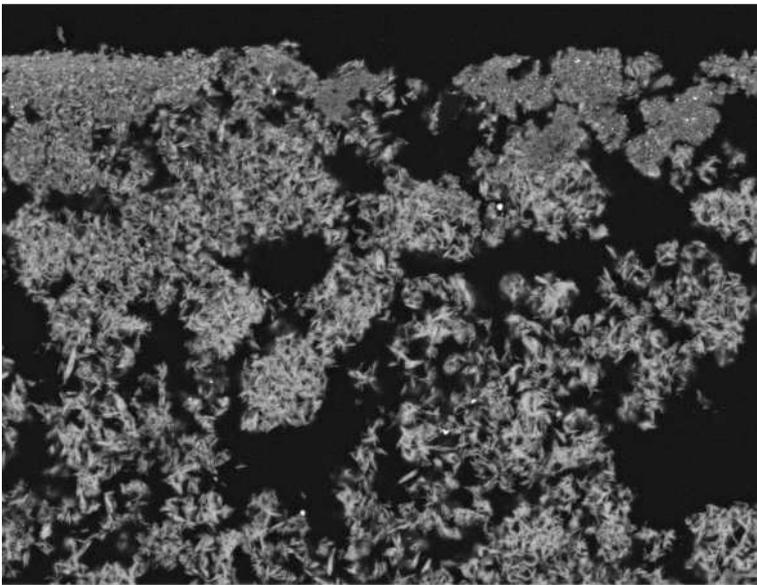


Probe 41

Abb.:

Poröse stark vergipste
Malschicht auf Putz. Pigmente in
Vertiefung am unteren Rand der
Schicht konzentriert, aber auch in
der aufgetriebenen Malschicht
vorhanden

09M0455□001



Probe 41

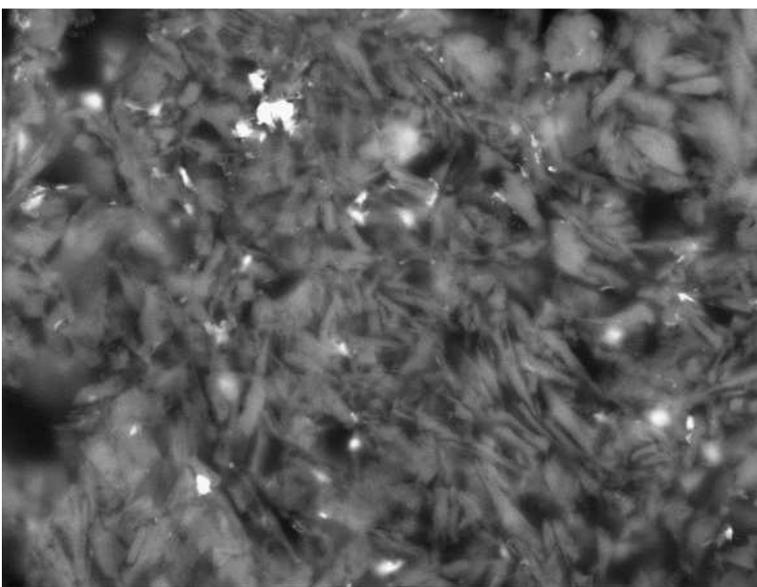
Abb.:

1. Detail aus 003□stark vergipste
Malschicht

20kV, SMB Pr.41

50 μm

09M0455□004



Probe 41

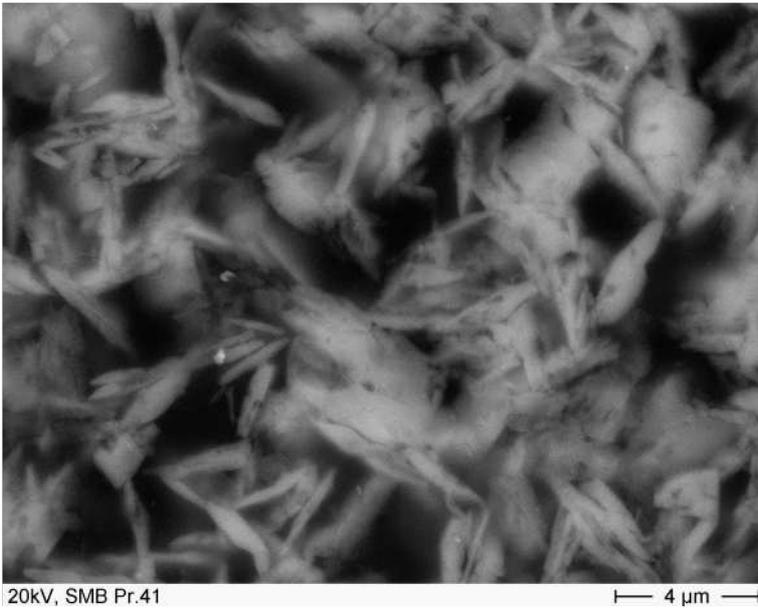
Abb.:

1. Detail aus 004 (oberer, rechter
Bereich)□Gips und darin
eingeschlossene Pigmente.
Dichtes Gefüge

20kV, SMB Pr.41

4 μm

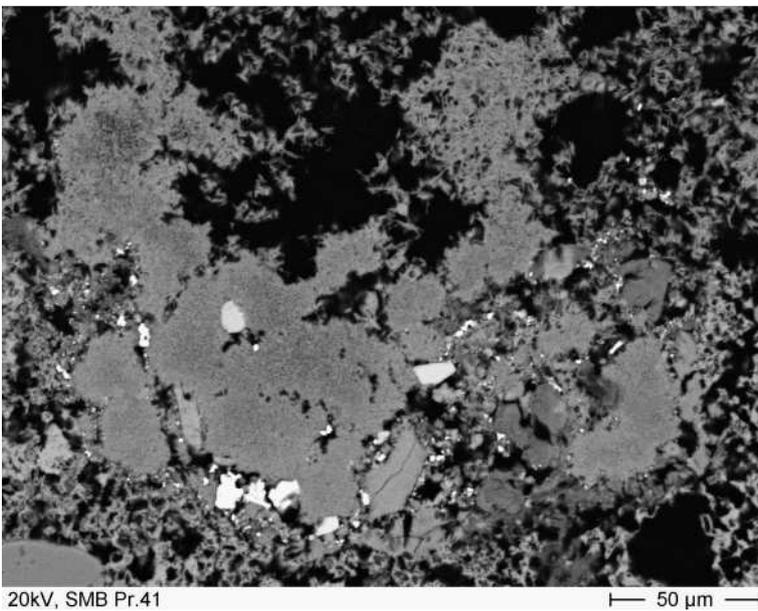
09M0455□005



Probe 41

Abb.:
2. Detail aus 004 □ Por □ se
Vergipsung

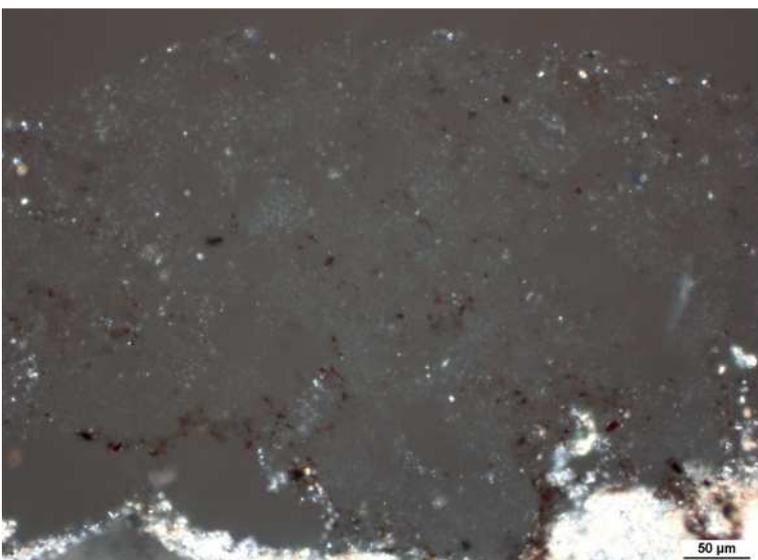
09M0455 □ 006



Probe 41

Abb.:
2. Detail aus 003 □ Braunes
Malschicht in der PolMi-
Aufnahme (unterhalb der
Bildmitte in 001) □ Dichte
Vergipsung mit
eingeschlossenen Pigmenten

09M0455 □ 007



Probe 41

Abb.:
Rechte □ ortsetzung von 001 □
Por □ se, stark vergipste
Malschicht auf Putz

09M0455 □ 002