

Die mikrobiologischen Untersuchungen in der Wieskirche

Im Verlauf der restauratorischen Maßnahmen in der Wieskirche konnten auch begleitende Untersuchungen zur mikrobiellen Besiedlung und Schädigung der Deckenmalerei durchgeführt werden, wie sie in diesem Umfang, zumindest in Deutschland, eher die Ausnahme darstellen. Daher erscheinen an dieser Stelle einige grundlegende Überlegungen zur biogenen Schädigung von Wandmalereien ebenso wie zur spezifischen Situation in der Wieskirche.

Es muß vorausgeschickt werden, daß die Problematik der mikrobiell beeinflussten Zerstörung auch an solchen Wandmalereien, an denen der Befall bereits mit bloßem Auge oder mit Hilfe einer Lupe sichtbar ist, häufig nicht erkannt wird und eingetretene Veränderungen als ein rein ästhetisches Problem betrachtet werden.

An Hand allgemeiner Ausführungen zu den unterschiedlichen durch Mikroorganismen beeinflussten Schadensprozessen soll das Gefahrenpotential für die Objekte verdeutlicht werden. Es soll zudem dargestellt werden, mit welchen Untersuchungsmethoden auf eine Besiedlung geprüft werden kann und wie sich restauratorische Maßnahmen auf die Mikroorganismen auswirken können, die ein Wandgemälde besiedeln. Das Wissen um diese Zusammenhänge kann dem Praktiker durchaus bereits helfen, Materialien und Methoden zu vermeiden, die eine mikrobielle Zerstörung fördern können. In Einzelfällen wird auch eine gezielte Anwendung von Hemmstoffen gegen das Wachstum von Mikroorganismen erforderlich sein. Auch diese Materialien bergen jedoch eine Fülle von Gefahren, die hier zumindest angesprochen werden sollen.

Eine Vielzahl der möglichen Schadensprozesse durch die mikrobielle Besiedlung von Wandgemälden ließ sich auch in der Wieskirche aufzeigen.

Grundvoraussetzungen für mikrobielle Aktivität

Klimatische Voraussetzungen

Es muß betont werden, daß jegliche mikrobielle Aktivität nur bei einer ausreichenden Versorgung der Organismen mit Feuchte auftreten kann. Diese Feuchte kann Wandgemälde in Innenräumen sowohl auf Grund von Bauschäden, besonders im Bereich des Dachs, der Regenablauftrassen und an Fenstern, wie über aufsteigende Grundfeuchte und den Transport durch Fugen erreichen. Aber auch Kondensationsereignisse auf der Malerschicht werden häufig beobachtet. Ferner ist hier die Feuchte zu berücksichtigen, die im Zuge der Nutzung durch Besucher in das Objekt eingebracht wird.

Die Eindämmung mikrobieller Schäden durch eine gezielte Verringerung der relativen Luftfeuchte wäre grundsätzlich möglich. Geschieht dies jedoch über eine Temperaturerhöhung, so ist eine deutliche Steigerung der mikrobiellen Aktivität zu erwarten. Die Erhöhung der Temperatur z. B. von 4°C auf 14°C steigert die Stoffwechselaktivität der Organismen auf das zehnfache.

Für viele Objekte dürfte ohnehin eine drastische Klimaänderung zur Eindämmung mikrobieller Schäden auf Grund weiterer Schadensproblematiken – insbesondere bei Salzbelastung – nicht möglich sein.

Nahrungsgrundlage und Mineralstoffversorgung

Chemoorganotrophe Mikroorganismen wie Pilze und alle in der Wieskirche nachgewiesenen Bakterienarten sind dagegen auf organische Kohlenstoffquellen als Nahrungsgrundlage und Energiequelle angewiesen. Dieser Kohlenstoffbedarf kann am Standort Wandgemälde überwiegend aus den organischen Bindemitteln gedeckt werden, unabhängig davon, ob es sich bereits um Bestandteile des Originals handelt oder ob diese durch Restaurierungsmaßnahmen in die Malerei eingebracht worden sind. Auch die im Laufe der Jahrhunderte angesammelte Verschmutzung kann als Substrat dienen, ebenso wie die Ausscheidungsprodukte – insbesondere die Schleime- und die abgestorbenen Zellen von Mikroorganismen und Insekten auf und in dem Wandgemälde. Mineralische Komponenten – ebenfalls zum Wachstum von Mikroorganismen erforderlich – sind auf Wandgemälden in ausreichender Menge verfügbar.

Durch Mikroorganismen beeinflusste oder induzierte Schädigung von Wandgemälden

Wird ein Wandgemälde von Mikroorganismen besiedelt, so beeinflussen diese auch solche Schäden unterschiedlich stark, die primär nicht von Mikroorganismen ausgehen. Hier ist u. a. das Kristallisationsverhalten von Salzen zu nennen, das sowohl durch Veränderung der Materialfeuchte, als auch durch die mikrobielle Produktion und Exkretion von Stoffen, welche die Oberflächenspannung von Lösungen verringern, verändert wird.

Zudem sind auch solche Schadensprozesse bekannt, die ausschließlich auf die Aktivität von Mikroorganismen zurückzuführen sind. So führt die Aufnahme organischer Bindemittel, die den Organismen als Nahrungsquelle dienen, zum Verlust der Festigkeit. Ihre Umsetzung kann möglicherweise zudem zu einer Säureausschüttung in das Objekt und damit zu einer Auflösung von Kalziumkarbonat führen.

Eine Auswahl der wichtigsten derzeit nachgewiesenen, durch Mikroorganismen beeinflusste oder induzierte Schadensprozesse soll hier näher erläutert werden:

1. optische Beeinträchtigung durch einen Bewuchs auf der Oberfläche der Malschicht,
2. mechanische Beanspruchung des Materialgefüges im Zuge des Wachstums sowie im Verlauf von Klimaschwankungen,
3. Entzug organischer Bindemittel auch späterer Fixierungen als Nahrungsquelle für die Mikroorganismen,
4. Zerstörung anorganischer oder organischer Komponenten des Materialverbandes z. B. durch Säurebildung,

5. farbliche Veränderungen von Pigmenten durch Oxidations- und Reduktionsprozesse,
6. Veränderung des Erscheinungsbildes der Malerei im UV-Licht.

Zu 1. Häufig wird eine Besiedlung durch Mikroorganismen durchaus als optische Veränderung des Objekts wahrgenommen, insbesondere dann, wenn die Organismen wie Algen und Cyanobakterien grüne Farbstoffe enthalten und Pilze eine graue oder bräunliche Färbung aufweisen. Ganze Bereiche von Wandgemälden können so eine farbliche Veränderung erfahren. In den seltensten Fällen handelt es sich bei solchen Belägen jedoch nur um einen auf der Epidermis aufliegenden Überzug; in der Regel wachsen die Zellen oder Zellfäden auch mehrere Millimeter weit in die Malschicht und in den tiefer liegenden Putzbereich ein. Allerdings beeinflusst selbst ein sogenannter oberflächlicher Belag den Feuchtegehalt des darunterliegenden Materials.

Zu 2. Das oben bereits erwähnte Eindringen der Organismen in das Materialgefüge stellt eine Belastung dar, die in ihrer Art mit der Sprengwirkung der Wurzeln höherer Pflanzen (z. B. von Bäumen auf Gestein) vergleichbar ist. Eine Vielzahl der Mikroorganismen, die wechselfeuchte Standorte – wie Wandgemälde sie darstellen – besiedeln, bilden dicke Schleimhüllen um ihre Zellen aus. Diese Schleime bestehen aus quellfähigem Material und werden daher bei Feuchtephasen unter Aufquellen Wasser einlagern, das sie beim Austrocknen wieder abgeben, wobei eine Schrumpfung auftritt. Diese Quellungs- und Schrumpfbewegungen belasten die Objekte auch dann, wenn es sich um «aufliegende Biofilme» handelt, aber auch bei solchen Besiedlungsformen, die in das Materialgefüge eindringen. Zudem wirken die Schleime als «Wasserspeicher». Da eine ausreichende Feuchteversorgung die Grundvoraussetzung für die Aktivität der Mikroorganismen darstellt, wird somit die Phase aktiven Lebens und der damit verbundenen Schadensausprägung verlängert.

Zu 3. Mit Ausnahme der Algen und Cyanobakterien benötigen die hier beschriebenen Organismusgruppen zum Wachstum organische Substrate, d. h. Nahrungs- und Energiequellen, die aus organischen Kohlenstoffverbindungen bestehen. Die als Zuschläge oder Bindemittel genutzten Naturstoffe erfüllen diese Bedingung unabhängig davon, ob es sich um Kohlenhydrate, Proteine, Fette, Wachse oder ähnliches handelt. Werden diese Materialien nun von den Mikroorganismen aufgenommen, so führt dies zum Verlust ihrer Funktion im Materialgefüge.

Neben den Naturstoffen ist auch eine Vielzahl von Kunststoffen, die im Zuge von Restaurierungen eingesetzt werden, als Nahrungsquelle nutzbar (Koestler und Santoro, 1988).

Zu 4. Die Fähigkeit von Mikroorganismen, organische Säuren zu bilden und auszuschütten, führt verstärkt zu Lösungsvorgängen an den Mineralbestandteilen (Eckhardt 1981, Krumbein 1983, Krumbein und Lange 1978). Besonders hervorzuheben ist hier bei der Zerstörung von Wandgemälden die Auflösung von Kalziumkarbonat. Neben dem Angriff auf die Mineralbestandteile der Wandgemälde muß aber auch mit einer Zerstörung der zur Fixierung dienenden organischen Materialien gerechnet werden.

Zu 5. Pigmentveränderungen wie die Bleisulfidschwärzung (Petushkova und Lyalikova 1986) und Blau-Grün-Verschiebung bei kupferhaltigen Pigmenten ließen sich auf Redoxreaktionen zurückführen, die von den Mikroorganismen durchgeführt wurden. Dieses Phänomen ist deutlich von der oben beschriebenen Besiedlung durch Mikroorganismen mit Eigenfärbung

zu trennen! Jedoch kann auch im Zuge der Oxidationsprozesse eine Verdunklung durch Auflagerung der Oxide auf die Zellwände eintreten, wie es für manganoxidierende Pilze beschrieben wurde (Petersen u. a. 1988).

Zu 6. Unter bestimmten Lebensbedingungen sind einige Pilze und Bakterien in der Lage, fluoreszierende Stoffe zu bilden. Wie später im Zusammenhang mit den Untersuchungen an der Wieskirche noch zu erläutern sein wird, können Wandgemälde Standorte darstellen, die die Ausbildung solcher fluoreszierender Stoffe durch Mikroorganismen fördern können.

Möglichkeiten und Grenzen unterschiedlicher Untersuchungsmethoden

Bei den Untersuchungsmethoden ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen solchen Schritten, die z. B. durch Sichtbarmachung von Zellen im Mikroskop das bloße Vorhandensein von Mikroorganismen gegebenenfalls auch abgestorbener Stadien belegen und solchen, bei denen die Keime in geeigneter Weise im Labor angezogen werden und damit gleichzeitig ihre Lebensfähigkeit bewiesen wird.

Beide Verfahren sind mit erheblichen Einschränkungen auch ohne Entnahme von Material des Objekts selbst möglich.

Die Analyse einer Materialprobe im Rasterelektronenmikroskop belegt z. B. die Art der Besiedlung auf/in einer Malschicht, erlaubt in der Regel eine Aussage über die Organismengruppen sowie darüber, ob Zellteilungen stattfinden, was aktivem Wachstum gleichkommt, sowie darüber, ob Sporen als Verbreitungs- und Überdauerungsstadien ausgebildet sind. Hier zeigt sich auch, ob insbesondere Pilzhyphe nur der Epidermis aufliegen oder tiefer in die Malschichten eindringen und zum Abtrennen kleiner Malschichtbereiche führen. Diese Methode der Untersuchung ist daher von sehr großer Bedeutung bei der Beurteilung eines Schadensbildes; sie ist nur bei Materialentnahme, also nicht zerstörungsfrei, möglich.

Da im Rasterelektronenmikroskop jedoch nur die jeweilige Probenoberfläche gesehen werden kann (je nach Fragestellung und Präparation die eigentliche Oberfläche, ein seitlicher Bruch oder die Unterseite der abgenommenen Probe), bleiben Besiedlungen tieferer Bereiche, wie sie häufig bei Bakterien auftreten, oft der Analyse verborgen, wenn sie nicht in den Bereichen kleinster Fehlstellen sichtbar werden.

Informationen über die Lebensgrundlagen der das jeweilige Objekt besiedelnden Mikroorganismen lassen sich jedoch nur dann erzielen, wenn diese im Labor angezogen werden können, womit gleichzeitig ihre Lebensfähigkeit nachgewiesen wird. Danach ist es möglich, die unterschiedlichen Arten voneinander zu trennen und zu bestimmen. Für einige Arten sind dann bereits aus der Literatur Angaben zu ihrem speziellen Schadenspotential bekannt. Anderenfalls schließen sich diese Untersuchungen in langwierigen Laborexperimenten an.

So wird in der Regel, abgestimmt auf die jeweilige mit dem Restaurator erarbeitete Fragestellung, von Interesse sein, welche Nahrungsquellen (Substrate) die das Objekt besiedelnden Mikroorganismen nutzen können und wie sich dies auf eine mögliche Säureproduktion unter Standort- und Laborbedingungen (wegen der größeren Vergleichbarkeit) auswirkt. Da das im Zuge des Abbindens ausgebildete Kalziumkarbonat durch diese organischen Säuren angegriffen werden kann, liegt in der Säurebildung eine erhebliche Gefahr für die Wandmalereien.

Sind restauratorische Maßnahmen geplant, so ist zu prüfen, welche der aus materialtechnischen Erwägungen möglichen Bindemittel das Wachstum der das Objekt besiedelnden Mikroorganismen fördern. Diese Materialien sollten selbstverständlich nicht zur Anwendung gelangen, zumal im Verlauf solcher Arbeiten häufig eine gleichzeitige Zufuhr von Feuchte (Wasser) erfolgt, die ihrerseits schon eine sprunghafte und langandauernde Steigerung der mikrobiellen Aktivität auf/im Objekt bewirkt.

Inwieweit eine drastische Steigerung der durch die Mikroorganismen beeinflussten Schadensprozesse in solchen Phasen durch die Zugabe von Hemmstoffen verringert werden kann, wird an anderer Stelle verdeutlicht.

Soll geprüft werden, ob Mikroorganismen über die zuvor aufgeführten Prozesse an der Ausprägung eines Schadensbildes beteiligt sind, so wird in der Regel eine winzige Materialprobe (einige Milligramm) aus dem geschädigten Bereich entnommen und diese auf Nährböden aufgebracht, die zur Anzucht von Mikroorganismen, die Wandgemälde besiedeln, geeignet sind. Da nicht alle möglichen Organismengruppen auf demselben Nährboden angezogen werden können, ist die Materialprobe mit den darin enthaltenen Keimen je nach Fragestellung auf 10–20 Nährböden zu verteilen. Um dafür so wenig Ausgangsmaterial wie möglich einsetzen zu müssen, wird der einer charakteristischen Schadensstelle entnommene Materialsplitter im Mörser zerkleinert und in eine geringe Menge (i. d. R. 1 Milliliter) einer physiologischen Kochsalzlösung überführt, die einen Stoff enthält, der das Ablösen der Mikroorganismen vom eigentlichen Probenmaterial und deren relativ gleichmäßige Verteilung in der Lösung bewirkt. Teile dieser Lösung und die darin enthaltenen Keime werden anschließend auf die verschiedenen Nährböden überführt. Alle Arbeitsschritte werden so ausgeführt, daß vom Zeitpunkt der Probenentnahme an keinerlei Fremdkeime mehr auf die Probe gelangen können.

Aus dem in Abbildung 1 schematisch dargestellten Verfahren ergibt sich, daß die Anzahl der Keime in der Ausgangsprobe zumindest so groß sein muß, daß auf jeden Nährboden eine geringe Menge von Mikroorganismen aufgebracht werden können.

Da jedoch diese Besiedlungsdichte bei der Probenentnahme nicht kalkulierbar ist, darf die entnommene Materialmenge aus statistischen Gründen nicht zu gering sein, damit die Ergebnisse nicht verfälscht werden. Hier ist unter Berücksichtigung der jeweiligen Fragestellung und der Gegebenheiten am Objekt (Original/Ergänzung/figürlicher Bereich) ein Kompromiß zu suchen.

Waren in dem entnommenen Material lebensfähige Zellen (Keime) enthalten, so wachsen diese unter Laborbedingungen innerhalb weniger Tage nach unzähligen Zellteilungen zu Kolonien aus, die man mit bloßem Auge sieht (Abb. 2). Diese Kolonien enthalten unzählige Einzelzellen (bei Bakterien i. d. R. 0,5–3 μ groß). Unter Laborbedingungen teilen sich einige Bakterienarten alle 20 Minuten (aus einer Zelle sind nach Teilung und anschließender Wachstumsphase zwei Zellen der Ausgangsgröße entstanden, die ihrerseits wieder in die Teilungsphase übergehen).

Derartige Wachstumsgeschwindigkeiten sind am Objekt nicht zu erwarten. Dennoch sind auch an der Wand Fälle bekannt, bei denen sich ein Schaden unter veränderten, begünstigenden klimatischen Bedingungen und bei gleichzeitig erhöhtem Nahrungsangebot innerhalb weniger Wochen ausgebildet hat.

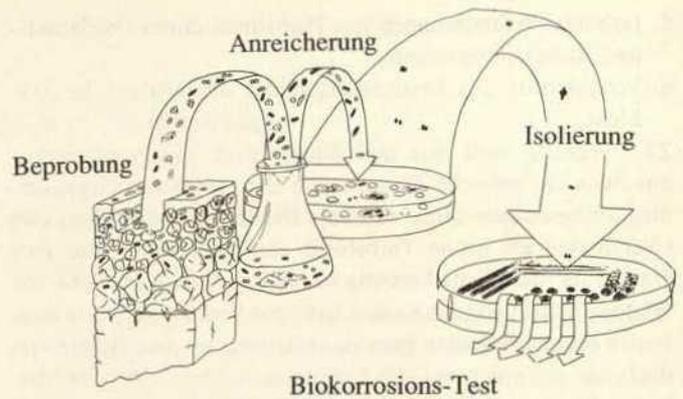


Abb. 1. Aufarbeitung von Proben nach Materialentnahme

Fig. 1. Handling of samples after their removal

Zu der häufig geäußerten Bitte um eine zerstörungsfreie Analyse muß gesagt werden, daß sich ein Objekt durch die gängigen Abnahmeverfahren mit Klebestreifen, Wattestäbchen oder Samtstempeln nicht vollständig beurteilen läßt. Zwar lassen sich so oberflächlich aufliegende Beläge, die eine sichtbare Veränderung bewirken, dem Objekt entnehmen. Es ist auch möglich, die so entnommenen Keime bereits vor Ort (u. U. nach Anfärbung) im Mikroskop zu beobachten, sie für physiologische Untersuchungen zum eigentlichen Schadenspotential auf Nährböden zu überführen und im Labor zu kultivieren. Eine mikrobielle Besiedlung tiefer liegender Bereiche, insbesondere auch unterhalb nachträglich aufgesetzter Fixativfilme, wie sie häufig und auch in der Wieskirche auftritt, kann jedoch mit diesen Methoden nicht erfaßt werden.

Wird nun auf Grund der Oberflächenanalyse eine Maßnahme ergriffen, so wird dies zur Verschiebung des Gleichgewichts zwischen den verschiedenen Mikroorganismenarten führen, wobei die Hemmung einer Art häufig durch Aufhebung des Konkurrenzdrucks die Förderung einer anderen Art bewirkt.

Zumindest im Zusammenhang mit anstehenden restauratorischen Maßnahmen sind daher Analysen mit Materialentnahmen unerlässlich, obwohl uns die Problematik insbesondere in Originalbereichen durchaus bewußt ist.

Im Sinne des Objekts ist zu betonen, daß eine gründliche Auswahl der charakteristischen Probenstellen hilft, die Anzahl der Entnahmeorte zu begrenzen.

Jede nur mögliche Information über die in dem Wandgemälde original vorhandenen oder durch Restaurierung hinzugefügten Materialien – sowohl über organische Bindemittel als auch Pigmente – ermöglicht es, die Nährböden so praxisnah wie nur möglich zusammenzustellen.

Diese Informationen sollten also bereits zum Zeitpunkt der Probenentnahme vorliegen!

Die Untersuchungen in der Wieskirche

Im Verlauf der Restaurierungsmaßnahmen an den Deckengemälden in der Wies ergab sich die Frage, ob Mikroorganismen an der Ausprägung einiger Schadensbilder, insbesondere den auffälligen Vergrauungen beteiligt sein könnten. Auch für die im Verlauf der Maßnahmen bei intensiver Betrachtung im UV-Licht auffälligen Bereiche, die ein fleckhaftes, nicht wie üblich flächiges Auftreten einer UV-angeregten Fluoreszenz zeigten, war zu klären, ob Mikroorganismen die möglichen Verur-

sacher sein könnten. Falls sich eine Besiedlung dieser Bereiche zeigen ließe, sollte auch das Schadenspotential der Organismen und deren Verhalten gegenüber möglichen für die Restaurierung vorgesehenen Fixierungsmitteln analysiert werden. Zudem sollte dann im Labortest geprüft und an Testflächen am Objekt überprüft werden, ob der Befall durch handelsübliche Biozide gehemmt werden könnte. Da eine grundlegende Analyse der Malfächen vor anstehenden umfangreichen Restaurierungsmaßnahmen erfolgen sollte, wurde nach Diskussion mit Vertretern des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege entschieden, eine Untersuchung an Hand von Materialproben durchzuführen.

Zudem wurde festgelegt, möglichst soviel Probenmaterial zu entnehmen, daß auch der räumliche Besiedlungsverlauf im Rasterelektronenmikroskop (REM) gezeigt werden könnte.

Ergebnisse der Kulturversuche

Im September 1987 und Februar 1989 wurden die grundlegenden Beprobungen an charakteristischen Schadensbereichen durchgeführt. Die Aufarbeitung erfolgte nach den zuvor dargestellten Gesichtspunkten.

Mit einer Ausnahme ließen sich von diesen 18 Proben im Labor Mikroorganismen anziehen. Die Pilzarten gehören überwiegend der Gattung *Penicillium* an, aber auch *Alternaria*, *Cladosporium* und *Trichoderma* waren vertreten.

Diese Pilze wurden bereits zuvor als säureproduzierend beschrieben. Insgesamt wurden 19 Bakterienstämme und 13 Pilzarten in unterschiedlicher Verteilung erzielt. Die Artbestimmung für die Pilze erfolgte in Speziallabors des Instituts für Schimmelkulturen in Baarn (Niederlande).

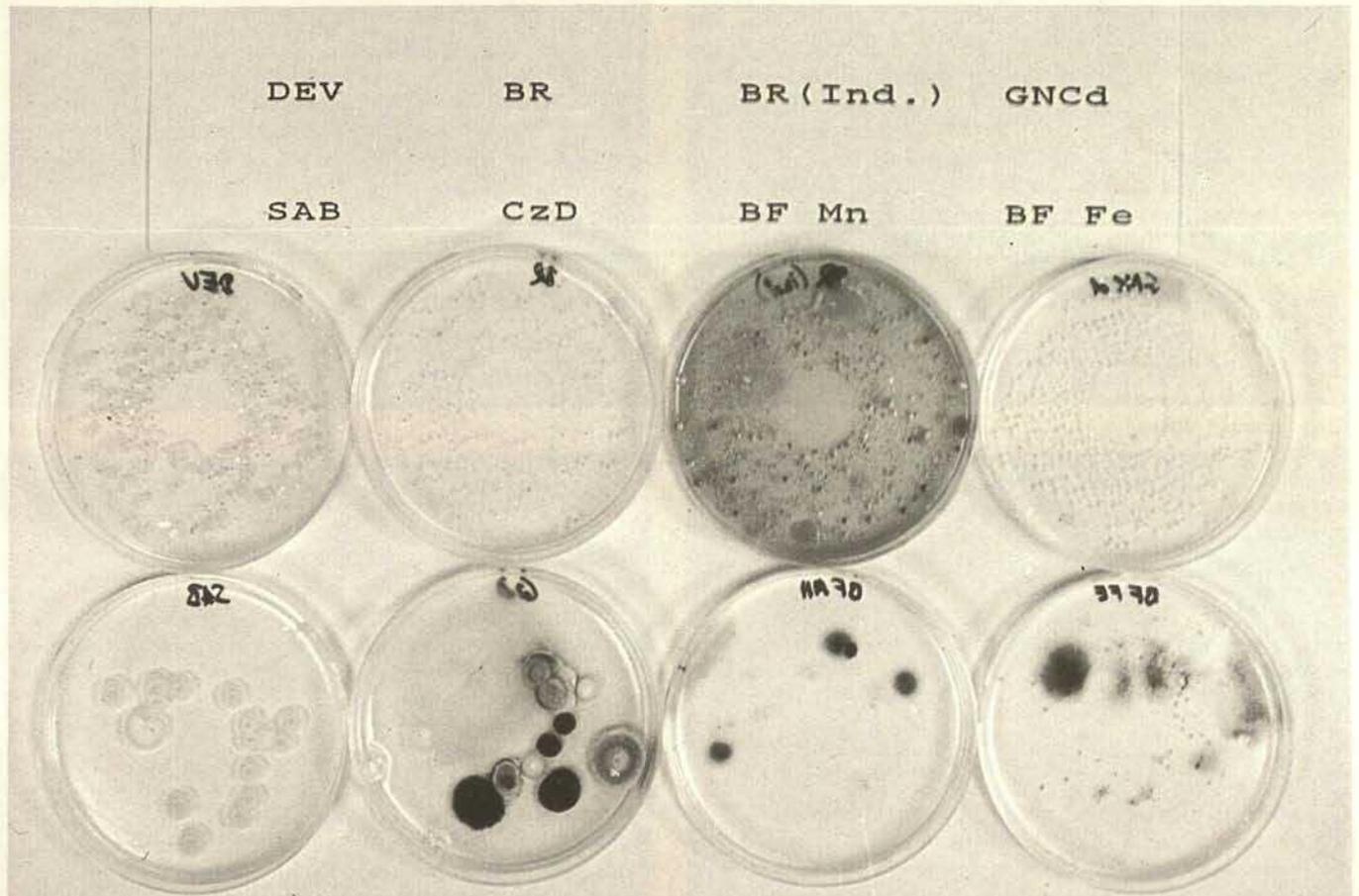
Die Organismen wurden für die nachfolgenden Untersuchungen teilweise als Einzelisolate oder als Mischkulturen eingesetzt. Zunächst wurde geprüft, wie sich die Isolate bei Wachstum in glukose- oder kaseinhaltigen Kulturmedien verhielten, die hier stellvertretend für Substrate auf Kohlenhydrat- bzw. Proteinbasis stehen. Als Kontrolle wurden stets Medien ohne Mikroorganismen geprüft. Die Auswertung erfolgte nach zwei Wochen Versuchsdauer bei 28 °C.

Tabelle 1 zeigt, daß die Bakterien und Pilze, die von den Deckenmalereien der Wies angezogen worden waren, ausnahmslos sowohl mit Glukose, als auch mit Kasein als Substrat wachsen konnten. Teilweise wurden durch das Wachstum starke Veränderungen des pH-Wertes der Nährmedien bewirkt.

Der Pilz *Penicillium chrysogenum* produziert z.B. bei Wachstum auf Glukose Säuren, die zu einer Verringerung des pH-Wertes auf pH 3,15 gegenüber der unbeimpften Kontrolle mit pH 7,01 führen. Bei Kaseinverwertung dagegen steigt der pH-Wert auf pH 8,84 an (Kontrolle pH 5,47).

Ähnliche Effekte zeigt eine Vielzahl der Bakterien- und Pilz-isolate. Von den 13 Pilzarten zeigten 8 im Laborversuch einen ausgeprägten Angriff auf Kalziumkarbonat, der zu einer Materialauflösung führt. Die Besiedlung durch mindestens eine die-

Abb. 2. Mikroorganismenkolonien auf unterschiedlichen Nährböden / Fig. 2. Colonies of microorganisms on different media



ser Karbonat lösenden Arten wurde für jede Probenentnahmestelle nachgewiesen.

Auf Grund der hohen Besiedlungsdichte und der Verbreitung aggressiver Stämme auf den Deckenmalereien mußte für die Malereien in der Wies eine starke Gefährdung durch Mikroorganismen angenommen werden.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Proben

Nachdem die Besiedlung fast aller Probenstellen nachgewiesen worden war und den angetroffenen Mikroorganismen, durch die Möglichkeit gängige glukosehaltige Bindemittel aber auch Kasein unter pH-Wert-Änderung zu verwerten, ein hohes Scha-

Tabelle 1. pH-Wert-Änderung bei Verwertung von glucose- und kaseinhalten Nährmedien

Stamm	Glukose- verw. ¹	pH	Kasein- verw. ¹	pH	CaCO ₃ - Auflösung ²
Kont. (Bakterien)	0	6.78	0	5.78	0
Wi 1	3	6.11	1	5.92	0
Wi 2	3	5.45	1	5.86	0
Wi 3	3	5.85	1	5.81	0
Wi 4	3	4.28	1	6.21	0
Wi 5	3	4.37	1	6.17	0
Wi 6	3	5.77	1	5.87	0
Wi 7	3	4.49	3	8.35	0
Wi 8	3	4.22	3	8.36	0
Wi 9	3	5.68	2	6.19	0
Wi 10	3	5.73	2	6.19	0
Wi 11	3	4.33	3	8.35	0
Wi 12	3	6.28	1	6.11	0
Wi 13	3	4.92	2	6.73	0
Wi 14	3	5.91	1	6.17	0
Wi 15	3	6.61	1	5.86	0
Wi 16	3	5.31	3	7.92	0
Wi 17	3	4.42	2	6.27	0
Wi 18	3	4.59	1	6.02	0
Wi 19	3	6.42	1	5.79	0
Kont. (Pilze)	3	7.01	0	5.47	0
Acremonium kilense	3	5.84	3	8.48	0
Acremonium sp.	3	7.95	3	8.48	0
Alternaria alternata	3	7.51	3	8.22	0
Aspergillus cf. nidulans	3	6.93	1	5.46	3
Cladosporium herbarum	3	4.04	2	8.07	0
Engyodontium album	3	7.39	3	6.80	0
Penicillium aurantiogriseum	3	3.87	2	7.60	3
Penicillium brevicompactum	3	3.49	3	7.38	3
P. chrysogenum	3	3.15	3	8.84	3
P. citrinum	3	4.00	3	7.03	3
P. crustosum	3	3.71	2	7.81	3
Phialophora olivacea	3	6.75	3	8.56	3
Trichoderma viride	3	5.76	0	7.88	3

¹ Glukose- bzw. Kaseinverwertung

² CaCO₃-Lyse auf modifiziertem Czapek-Dox-Agar, 0,5% Glukose + 0,5% CaCO₃-pH-Wertmessung nach zwei Wochen Inkubation bei 28°C

¹
0 = kein Wachstum
1 = kaum Wachstum
2 = gutes Wachstum
3 = sehr gutes Wachstum

²
bzw. = keine Auflösung
bzw. = geringe Auflösung
bzw. = deutliche Auflösung
bzw. = starke Auflösung

denpotential zugeordnet werden mußte, konnte Material der 2. Beprobung auch der rasterelektronenmikroskopischen (REM) Analyse zugeführt werden.

Nach unseren bisherigen Erfahrungen ist eine bakterielle Besiedlung häufig nicht in der obersten Malschicht, sondern in den darunterliegenden Schichten zu finden. Daher kann eine bakterielle Besiedlung tieferer Bereiche mit dem REM nur selten gezeigt werden.

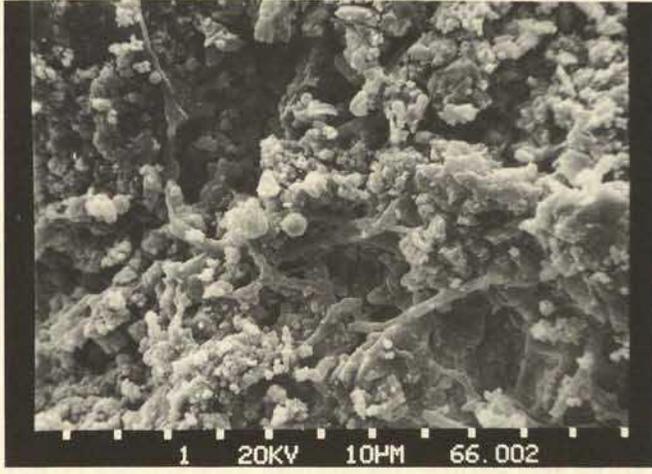
Die Rasterelektronenmikroskopie ermöglichte es uns hier, einerseits einen direkten Zusammenhang zwischen der mit bloßem Auge erkennbaren Oberflächenbelegung und der Besiedlung durch Pilze herauszustellen (Abb. 3, 4), andererseits ließen sich so Aussagen über die Art der Besiedlung, ihr Eindringverhalten in die Malschicht und den Untergrund sowie über ihr Wachstumsverhalten machen.

Es konnte hier gezeigt werden, daß mit der zuvor erwähnten Ausnahme alle im Rasterelektronenmikroskop untersuchten Proben eine massive Besiedlung durch Pilze zeigen. Diese Pilzhyphen dringen bis in die Tiefe der Mal- und Putzschichten vor (Abb. 5, 6), d. h. bei Quellungsvorgängen im Zuge von Feuchte- wechseln wird der gesamte Materialverband bis in die Tiefe durch diese Bewegungen beeinträchtigt, was letztlich zur Auflockerung führt. Rißbildungen können so induziert oder verstärkt werden (Abb. 7), aber auch das Absprengen ganzer Schollen erfolgt hier durch massive Myzelbildung, was zu einem Materialverlust führt (Abb. 8, 9). Ferner ergab sich, daß viele der Hyphen stark mit organischem Material überlagert waren, das sowohl aus einer mikrobiellen Schleimproduktion als auch von vorhergehenden Sicherungsmaßnahmen stammen kann (Abb. 10).

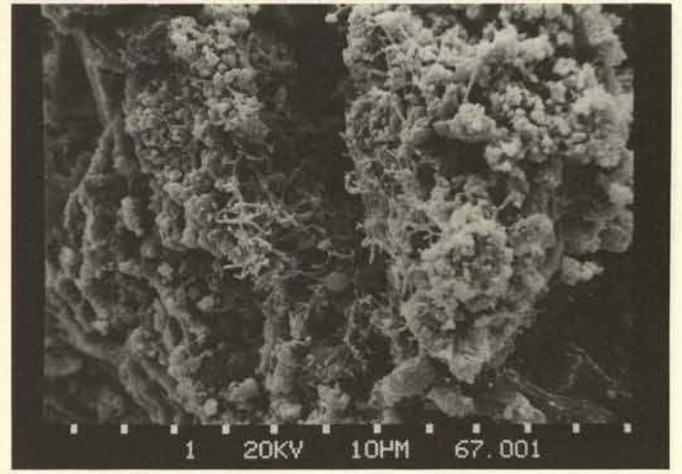
Neben der Tatsache, daß sich eine Besiedlung mit unterschiedlichen Pilzarten zeigen ließ, die auch der jeweiligen Verteilung der isolierten Pilzarten entsprach, zeigte sich für alle Proben die Ausbildung von Sporen (Abb. 11, 12).

Abb. 3–10. Proben pilzbefallener Oberflächen aus den Deckengemälden der Wies unter dem Rasterelektronenmikroskop; Pilzhyphen, die in die Malschicht eindringen, Lockerung, Rißbildung (7), das Absprengen von Schollen und damit Substanzverluste (8, 9) verursachen können; Pilzhyphen mit organischen Materialüberlagerungen aus mikrobieller Schleimproduktion oder vorhergehenden Sicherungsmaßnahmen (10)

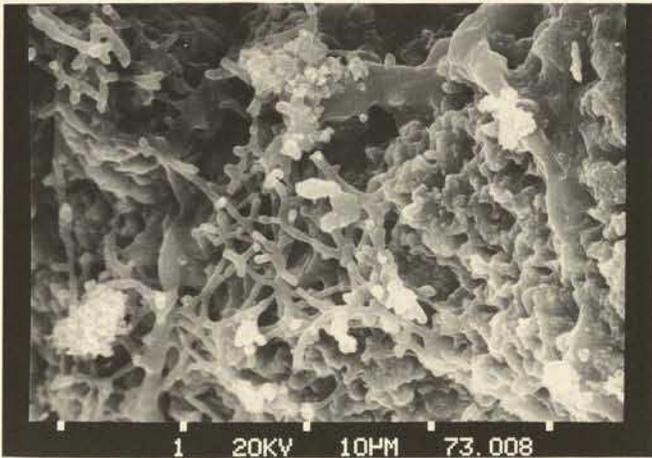
Fig. 3–10. Samples of surfaces attacked by fungus from the ceiling paintings of Die Wies seen under a raster electron microscope; fungi that have penetrated the paint layer and can cause loosening, formation of cracks (7), breaking off of clumps (8, 9) and thus loss of substance; fungi with overlapping of organic materials from microbiotic mucilage production or from previous stabilization measures (10)



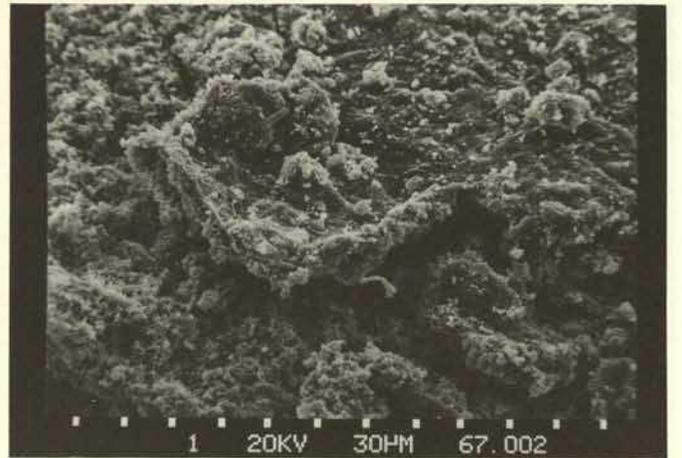
3



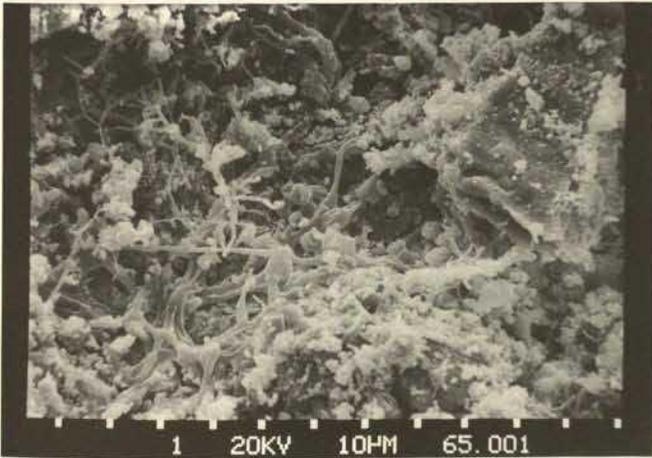
7



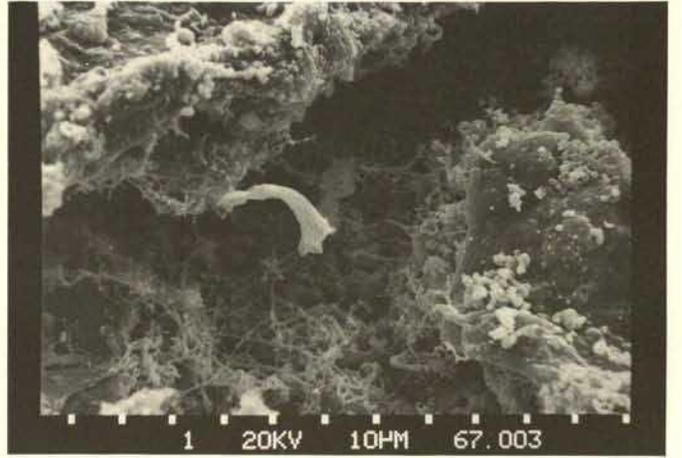
4



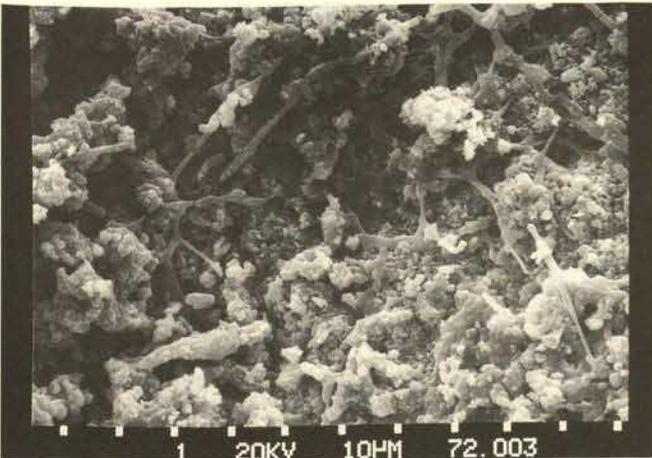
8



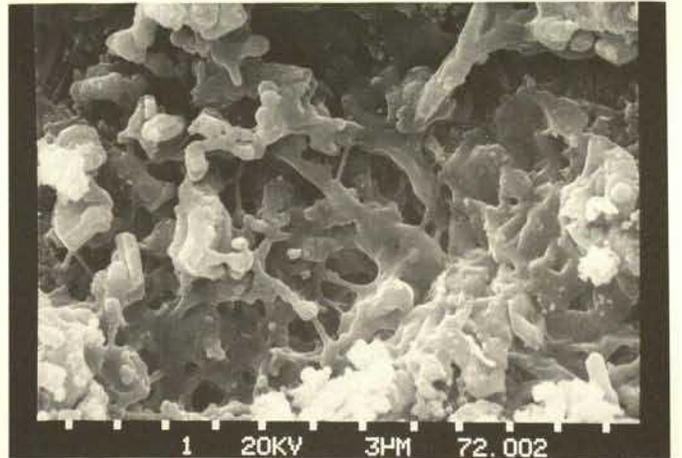
5



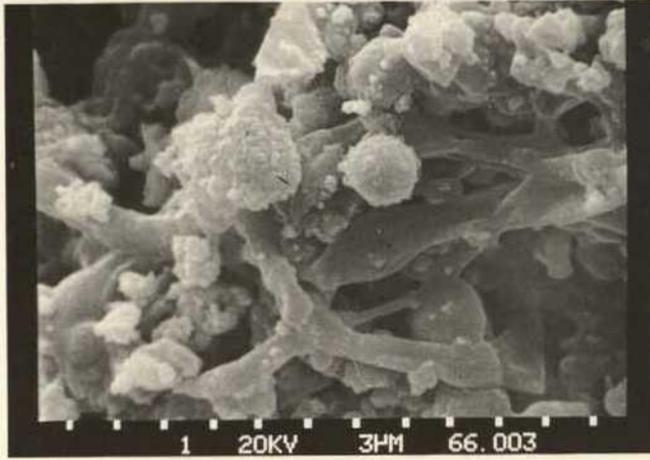
10



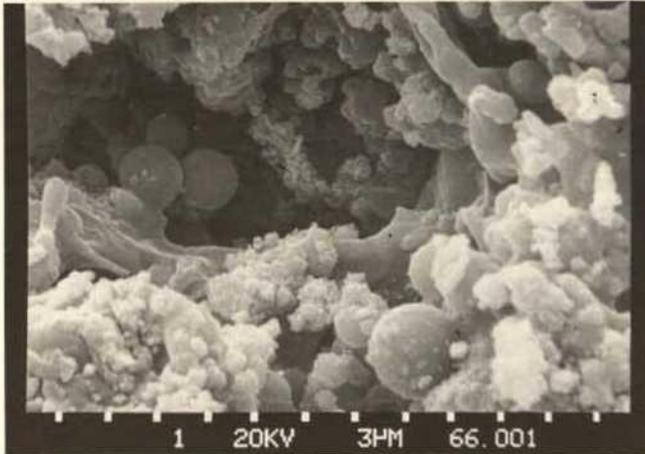
▽ 6



9



11

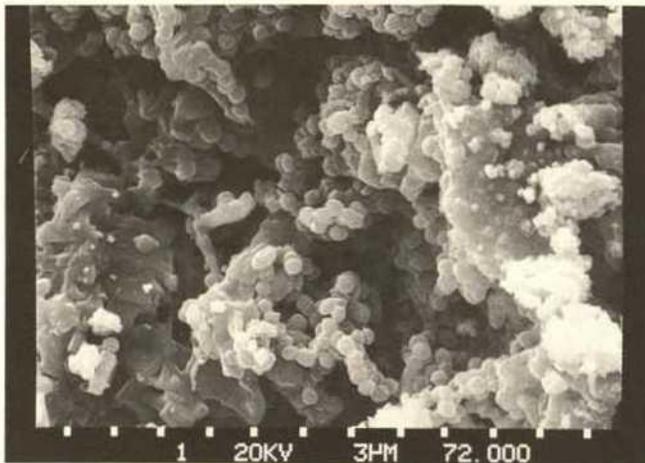


12

Abb. 11–13. Proben von der Wies unter dem Rasterelektronenmikroskop; Nachweis unterschiedlicher Pilzarten und Sporen (11, 12) sowie teilungsaktiver Bakterien (13)

Fig. 11–13. Samples from Die Wies seen under the raster electron microscope; proof of various types of fungi and spores (11, 12) and of actively dividing bacteria (13)

13



Sporen stellen Überdauerungs- und Verbreitungsformen von Pilzen dar. Sie besitzen eine widerstandsfähige, derbe äußere Wand und weisen eine extrem geringe Stoffwechselaktivität auf. So werden z. B. Trockenperioden mittels Sporenbildung überdauert. Bei erneutem Auftreten von Feuchte keimen diese Zellen zu neuen Pilzmyzelien (Geflechten) aus. Das Vorhandensein solcher Sporen ist z. B. bei Reinigungsverfahren zu berücksichtigen. «Trocken»-Reinigungsmethoden würden eine optimale Verbreitung der Sporen im Objekt garantieren und waren daher hier abzulehnen.

Für einige Proben konnte das Vorhandensein auch einer oberflächlichen Besiedlung durch teilungsaktive Bakterien gezeigt werden (Abb. 13).

Die Tatsache, daß für die Mehrzahl der Probenstellen sowohl Pilze als auch Bakterien nachgewiesen wurden, mußte bei den geplanten Reinigungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Das enzymatische Anlösen der im wesentlichen aus langkettigen Kohlenhydraten bestehenden Schleime, mit denen sich die Pilze an das Objekt anheften, führt zur Spaltung in kleinere Unter-einheiten wie z. B. Glukose. Diese stellen aber eine sehr leicht verwertbare Nahrungsquelle für Bakterien dar und können deren Wachstum erheblich beschleunigen (Petersen et al. 1989). Derartige Maßnahmen schieden daher hier aus.

Untersuchungen zur Fluoreszenz

Ein weiteres Schadensbild, das die Deckengemälde der Wieskirche aufzeigen, tritt nur bei der Betrachtung im ultravioletten Licht durch eine punktuell auftretende Fluoreszenz in Erscheinung (Abb. 14). Das geringe Ausmaß der einzelnen Bereiche ließ nicht auf eine durch Lasur induzierte Fluoreszenz schließen.

Abb. 14–16, 18–20. Nachweis fluoreszierender Mikroorganismen isolierter Pilzarten, an den Deckengemälden der Wieskirche; Ausschnittsaufnahme mit punktuell auftretender Fluoreszenz (14), fluoreszierender Pilz im Durchlicht (15) und UV-Licht fotografiert (16); fluoreszierende Pilze unter dem Rasterelektronenmikroskop, teilweise unter einem dicken Film organischen Materials wachsend (18–20)

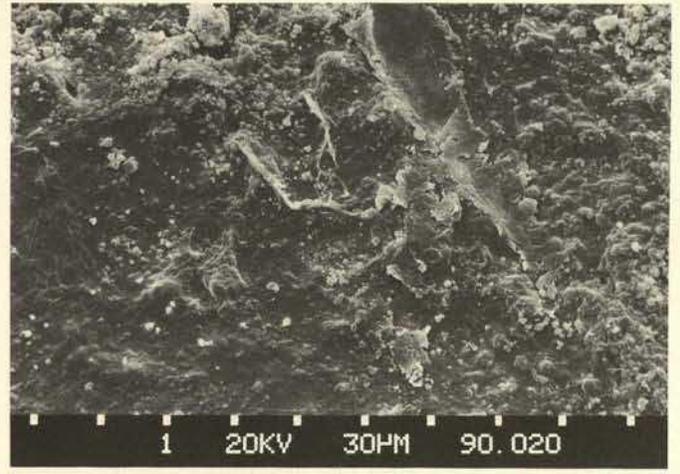
Abb. 17, 21. Lebensfähige Mikroorganismen aus tieferliegenden Bereichen des Deckengemäldes nach erfolgter Oberflächenreinigung

Fig. 14–16, 18–20. Proof of fluorescent microorganisms, isolated types of fungi on the ceiling paintings of Die Wies; detail photographs of fluorescence occurring in certain places (14), of fluorescent fungi seen in penetrating light (15) and in ultraviolet light (16); fluorescent fungi seen under the raster electron microscope, growing in places beneath a thick film of organic materials (18–20)

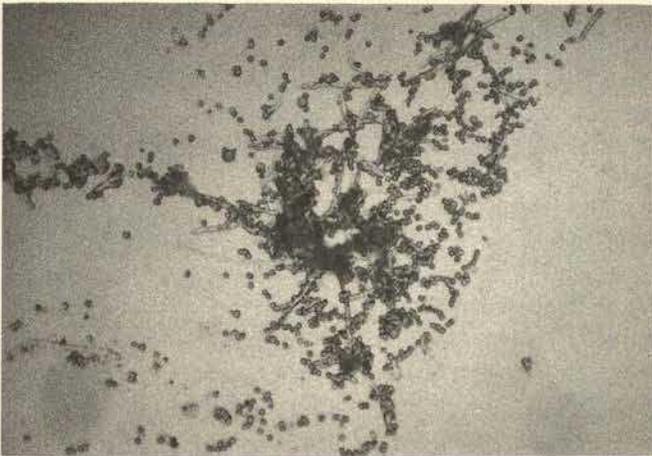
Fig. 17, 21. Microorganisms able to survive in the lower layers of the ceiling painting after surface cleaning has been carried out



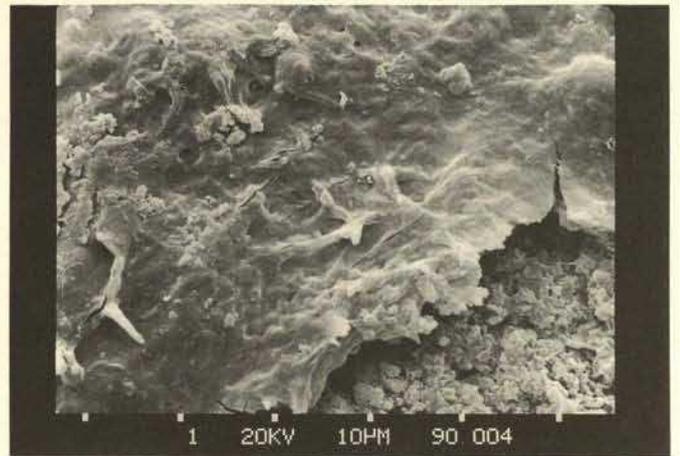
14



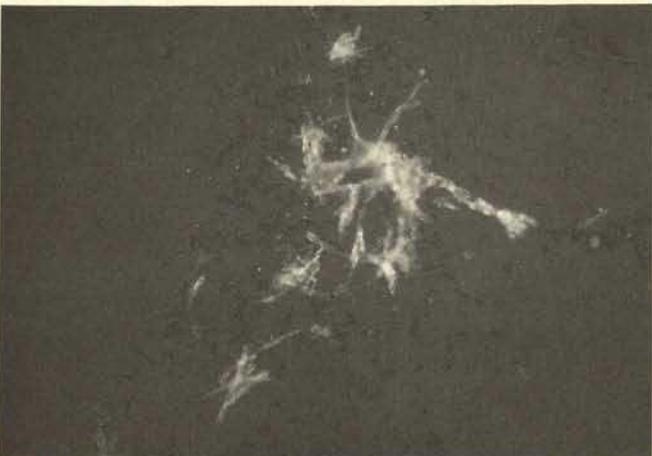
18



15



19

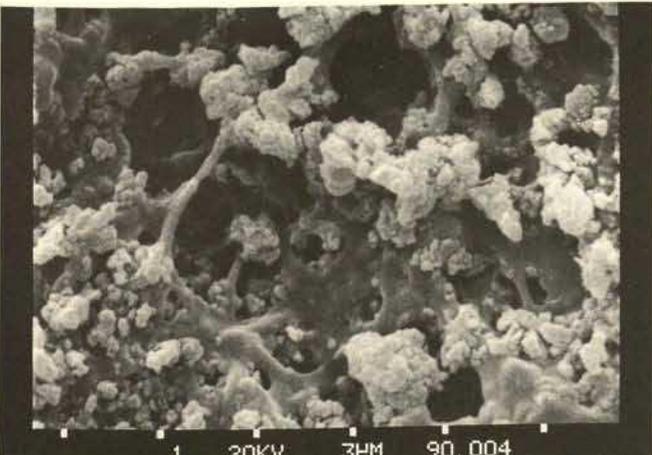


16

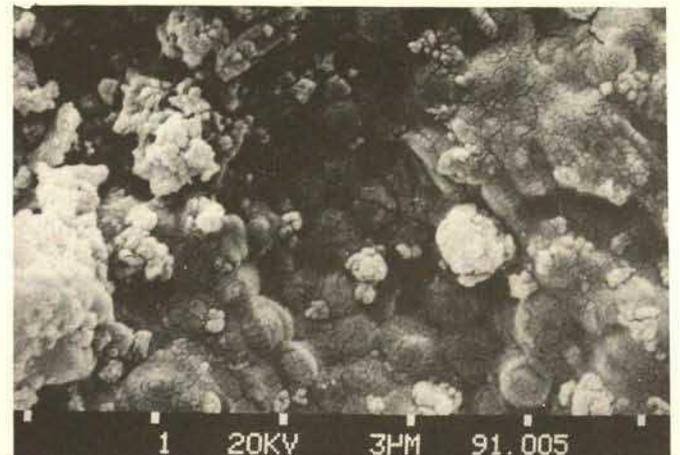


21

▽ 17



17



20

In Kenntnis der Tatsache, daß einige Mikroorganismen unter bestimmten Bedingungen fluoreszierende Stoffe produzieren, wurde daher geprüft, ob sich auch von diesen Bereichen mit den oben dargestellten Methoden Mikroorganismen anziehen ließen.

Tabelle 2 zeigt, daß die Proben mit Fluoreszenzaktivität eine höhere Besiedlungsdichte für Bakterien und Pilze aufwiesen als die Probe ohne Fluoreszenzaktivität. Anschließende Laboruntersuchungen ergaben, daß insbesondere die isolierten Pilzarten unter UV-Licht (365 nm) fluoreszieren. Die gebildeten fluoreszierenden Stoffe wurden teilweise in das Kulturmedium ausgeschieden. Abbildung 15 zeigt einen aus fluoreszierenden Bereichen isolierten Pilz im Durchlicht, Abbildung 16 dasselbe Präparat im UV-Licht (365 nm) fotografiert.

Tabelle 2. Besiedlung fluoreszenzaktiver Probenstellen

Proben	Fluoreszenz ⁽¹⁾	Bakterien-vorkommen ⁽²⁾	Pilz-vorkommen ⁽²⁾
Wi III/1	**	++++	++
Wi III/2	**	+++	+++
Wi III/3	—	++	—
Wi III/4	***	+++	+++

⁽¹⁾ Stärke der beobachteten Fluoreszenz	⁽²⁾ Stärke des Bewuchses
— keine Fluoreszenz	— kein Bewuchs
* sehr schwache Fluoreszenz	+ sehr schwacher Bewuchs
** schwache Fluoreszenz	++ Bewuchs
*** starke Fluoreszenz	+++ starker Bewuchs
	++++ sehr starker Bewuchs

Auch im Rasterelektronenmikroskop ließ sich die Besiedlung dieser auffälligen Bereiche durch Pilze belegen, die teilweise unter einem relativ dicken Film organischen Materials wachsen (Abb. 18–20). Solange die chemische Analyse dieses Materials nicht vorliegt, kann selbstverständlich nicht ausgeschlossen werden, daß dieses selbst auch im UV-Licht fluoresziert.

Die Ursache für die Ausbildung fluoreszierender Stoffe liegt häufig in der geringen Verfügbarkeit von Mineralien, die für den Stoffwechsel der Organismen lebensnotwendig sind. Die Bildung bestimmter fluoreszierender Substanzen führt schließlich zu einer besseren Verfügbarkeit dieser Mineralien.

Denkbar wäre allerdings auch, daß die mögliche toxische Wirkung von schwermetallhaltigen Pigmenten durch denselben Mechanismus der Komplexbildung mit den fluoreszierenden Stoffen aufgehoben werden könnte.

Mikrobiologische Prüfung möglicher Fixative

Da bei den geplanten Maßnahmen auch Nachfixierungen erforderlich waren, sollten die möglichen Fixierungsmaterialien daraufhin geprüft werden, ob sie Nahrungsgrundlage für die das Objekt besiedelnden und zum Schadensbild beitragenden Mikroorganismen sein könnten. Gut verwertbare Materialien sollten keinesfalls zur Anwendung kommen. Um diese Untersuchungen ausführen zu können, wurde zuvor geprüft, ob die Fixative selbst möglicherweise bereits mit Mikroorganismen besiedelt waren, da diese einerseits die Ergebnisse verfälschen würden, andererseits auch zu einer erheblichen Steigerung des Schadens führen und zudem die festigende Wirkung der Fixative vermindern könnten. Zwei Tage nachdem diese Materialien durch die beteiligten Restauratoren angesetzt worden waren,

erfolgte die Prüfung im Labor. Zu diesem Zweck wurden je 50 µl der zu prüfenden Fixative auf Nährböden aufgetragen. Nach zwei Wochen Kulturdauer zeigte sich, daß fast alle der zu prüfenden Fixative bereits von Mikroorganismen besiedelt waren.

Tabelle 3 zeigt die unterschiedliche Besiedlung der Fixierungsmittel durch Pilze und Bakterien. Mit Ausnahme von Klucel E und G sowie Paraloid B 72 waren alle geprüften Mittel teils erheblich durch Bakterien verunreinigt (Abb. 22). Da Paraloid B 72 in der Regel in Äthanol gelöst eingesetzt wird, dürfte die desinfizierende Wirkung des Alkohols eine Besiedlung verhindert haben.

Eine geringe Besiedlung durch Pilze war in der kurzen Zeit bis zum Aufbringen auf die Nachweismedien nur in den drei Kaseinansätzen und bei Gummiarabicum erfolgt. Gleichzeitig mit den Standard Pilz- und Bakterienmedien wurden Nährböden mit den Fixativen beimpft, die als einziges Substrat Kasein, Methylzellulose oder Dextrin enthielten. So konnte geprüft werden, inwieweit die Mikroorganismen, die in den Fixativansätzen wuchsen, allgemein in der Lage waren, auf Proteinen (Kasein) oder komplexen Kohlenhydraten (Methylzellulose und Dextrin) zu wachsen.

Tabelle 3 zeigt, daß die Mehrzahl dieser Organismen sowohl auf Protein- wie Kohlenhydratbasis wuchsen, hier jedoch bevorzugt auf Dextrin gegenüber Methylzellulose. Diese Versuche wurden auf festen Nährböden durchgeführt. Einige der Ansätze wurden photographisch dokumentiert. Dunkle Zonen um die Organismen herum (Abb. 23) zeigen an, daß hier das Kasein aufgebraucht ist, das in den randlichen Bereichen noch für die weißliche Trübung des Nährbodens sorgt. Der Dextrinverbrauch ist ebenfalls an den stark aufgehellten Zonen ersichtlich. Nicht verbrauchtes Dextrin wurde mit Jod-Jodkali violett angefärbt (Abb. 24).

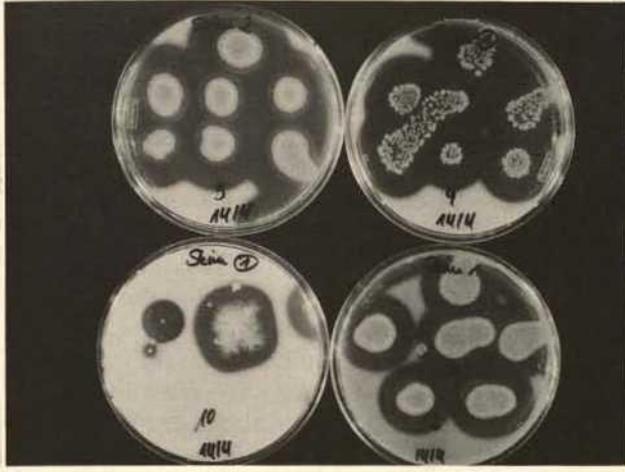
Das gleiche gilt für Zellulose, die mit Chlorzinkjod bräunlich angefärbt wird (Abb. 25).

Ebenso problematisch ist die Feststellung, daß in allen Fixativen auch solche Mikroorganismen gewachsen waren, die in er-

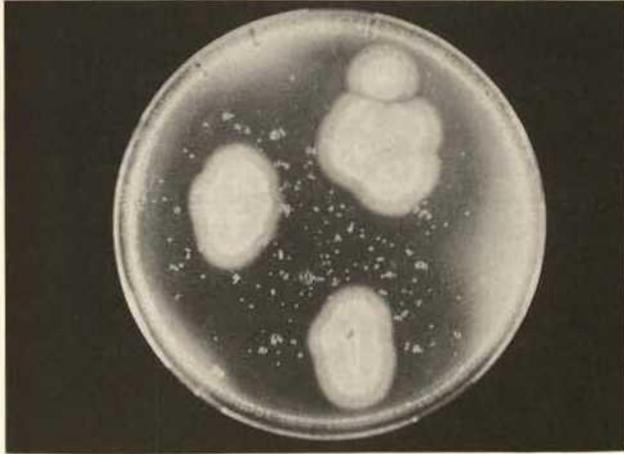
Tabelle 3. Besiedlungs- und Verwertungsmuster von Fixativen

Fixierungsmittel	Bakt.	Pilze	Kasein	Methylzellul.	Dextrin	CaCO ₃ Auflösung ⁽¹⁾
Klucel E	—	—	—	—	—	—
Klucel G	—	—	—	—	—	—
Tylose MH 300	++	—	+++	—	++	2
Plectol B 500	+++	—	++	—	+++	2
Plectol P 550	+	—	—	++	+	1
Mowilith 35/73	+	—	—	+	++	1
Primal AC 33	++	—	+++	+	++	2
Mowiol 40–48	++	—	+++	—	+++	2
Walocel	++	—	+++	—	++	2
10 g Milchsäurekasein in 70 cm ³ H ₂ O	+	+	++	++	+++	1
Quark-Sumpfkalk in H ₂ O	+++	+	+	++	++	1
Kasein (Pulver) in H ₂ O	++	+	+++	++	+++	2
Gelatine	++	—	+++	—	++	2
Paraloid B 72	—	—	—	—	—	0
Gummiarabicum	+++	+	++	—	++	2

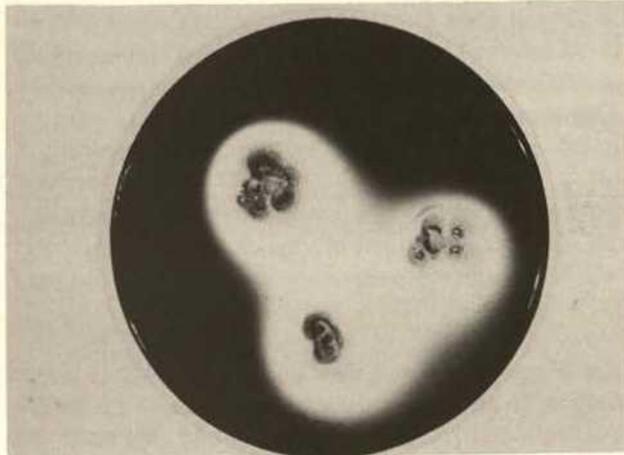
—	kein Bewuchs	⁽¹⁾	0 = keine Auflösung
+	schwacher Bewuchs		1 = geringe Auflösung
++	Bewuchs		2 = starke Auflösung
+++	starker Bewuchs		3 = sehr starke Auflösung



22

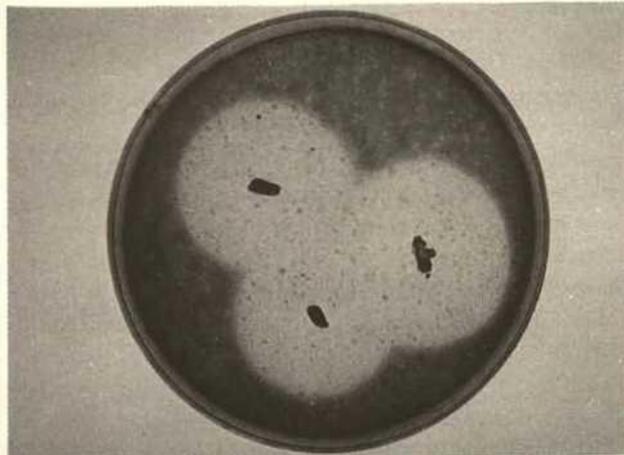


23



24 Δ

▽ 25



heblichem Maße Säuren ausschütten und damit Kalziumkarbonat auflösen (Tab. 3).

Es wurde zudem gezeigt, daß Plextol B 500, Mowilith 35/73 und Primal AC 33 bereits vor dem Ansatz für das gebrauchsfertige Material durch Bakterien verunreinigt waren.

Zu diesen in den geprüften Fixierungsmitteln wachsenden Mikroorganismen muß trotz ihres hohen Gefahrenpotentials für das Wandgemälde auf Grund der guten Verwertung von protein- und kohlenhydrathaltigen Bindemitteln und der für alle Populationen nachgewiesenen Auflösung von Kalziumkarbonat gesagt werden, daß sie nicht zwangsläufig die extremen Standortbedingungen, wie ein Wandgemälde sie bietet, ertragen können.

Es ist daher durchaus möglich, daß zumindest einige dieser Mikroorganismen absterben und keine Überdauerungsformen ausbilden, wenn sich der Feuchtegehalt der Malschicht wieder auf geringere Werte stellt.

Bis zu diesem Zeitpunkt ist aber mit massiver Schädigung des Objekts durch diese mit dem Fixativ zusätzlich eingebrachten Mikroorganismen zu rechnen.

Auch originale Bindemittelanteile können durch die so zusätzlich eingebrachten Keime mit angegriffen werden. Bei einem Wachstum in das Material werden in diesem durch die mechanische Belastung sowie bei nachfolgenden Klimaschwankungen und dadurch induzierten Quellungs- und Schrumpfbewegungen Auflockerungen erfolgen.

Auch stellen die möglicherweise absterbenden Mikroorganismen eine weitere Nahrungsquelle für die ursprünglich das Objekt besiedelnden und an den Standort angepaßten Mikroorganismen dar.

Eine stärkere Förderung dieser Ausgangspopulation erfolgt mit jeder Restaurierung durch das Einbringen eines als Nahrungsquelle nutzbaren Fixativs bei gleichzeitiger Erhöhung der Materialfeuchte.

Zu diesem Zweck wurden Nährböden mit den geplanten Fixativen (frisch angesetzt!) hergestellt und mit Mischkulturen der Mikroorganismen beimpft, die von dem Gemälde in Kultur genommen worden waren.

Abb. 22–25. Fixativproben auf festen Nährböden unter dem Rasterelektronenmikroskop; Nachweis von einigen in Fixativansätzen vorhandenen Mikroorganismen und ihre Befähigung auf Proteinen, Methylzellulose oder Dextrin zu wachsen; bakteriell verunreinigte Fixativproben (22), Nachweis von Kasein- (23), Dextrin- (24) und Zelluloseverbrauch (25) durch Einfärbung unverbrauchter Materialien auf den Nährböden

Fig. 22–25. Fixative samples on culture media seen under the raster electron microscope; proof of the ability of several microorganisms present in the fixative preparations to grow on proteins, methyl cellulose or dextrin; bacterially contaminated fixative samples (22), proof of casein - (23), dextrin - (24) and cellulose consumption (25) by means of dyeing of unused materials on the culture media

Tabelle 4 zeigt, daß alle vorgeschlagenen Fixative unterschiedlich gut verwertbar waren, wobei in der Regel die Verwertung bei Besiedlung durch Pilze und Bakterien gegenüber der durch Bakterien gesteigert wurde.

Hier muß daran erinnert werden, daß für die Mehrzahl der Probenstellen Pilze oder Pilze und Bakterien nachgewiesen worden waren.

Nach diesen Ergebnissen stand fest, daß für den Fall, daß weitere gut verwertbare Mittel aus technischen Gründen nicht zu vermeiden wären, unbedingt ein Zusatz von Bioziden erfolgen sollte.

Untersuchungen zur Biozidanwendung

Auf Grund der vorliegenden Bewertung der mikrobiellen Besiedlung und der klimatischen Bedingungen des Objekts wurden schließlich auch Untersuchungen zur Anwendbarkeit handelsüblicher Biozide durchgeführt. Hier kamen nur klare bzw. sich klar lösende Präparate zur Prüfung, da Farbveränderungen am Objekt nicht zu tolerieren wären. Die Auswahl wurde durch diese Vorgabe stark eingengt. Auch Biozide, die in der Anwendungskonzentration einen niedrigen pH-Wert aufweisen, sind für die Behandlung von Wandgemälden nicht geeignet.

Um die hemmende Wirkung der Präparate auf die Mikroorganismen zu beurteilen, wurden diese Mittel jeweils in drei Konzentrationen gegen die dem Objekt entnommenen Mischkulturen geprüft.

Tabelle 5 zeigt die unterschiedliche Wirkung der ausgewählten Biozide gegen die vom Objekt erzielten Mikroorganismen.

Neben der unterschiedlichen Wirkung der Biozide selbst zeigte sich auch eine durchaus nicht mit den Herstellerangaben übereinstimmende unterschiedliche Wirkung auf Pilze und Bakterien. Nach den in Tabelle 5 dargestellten Einzelergebnissen läßt sich nur für die Präparate Mergal S 97, Parmetol DF 12 und DF 18 eine starke Hemmung auf die Bakterien und Pilze

Tabelle 4. Verwertungsmuster der die Deckengemälde der Wieskirche besiedelnden Mikroorganismen

Fixierungsmittel	Bakt.	Bakt. u. Pilze	Pilze	Kont.
1 Klucel E	+	++	++	—
2 Klucel G	+	++	++	—
3 Tylose MH 300	+	++	++	—
4 Plextol B 500	+	+	++	—
5 Plextol P 550	+	+	++	—
6 Mowilith 35/73	—	++	++	—
7 Primal AC 33	+	++	++	—
8 Mowiol 40-48	+	++	++	—
9 Walocel	+	+	+	—
10 10 g Milchsäurekasein in 70 cm ³ H ₂ O	+++	+++	+++	—
11 Quark-Sumpfkalk in H ₂ O	++	++	++	—
12 Kasein (Pulver) in H ₂ O	+++	+++	+++	—
13 Gelatine	+	++	++	—
14 Paraloid B 72	+	+	+	—
15 Gummiarabicum	+	++	+	—

— kein Bewuchs
 + schwacher Bewuchs
 ++ Bewuchs
 +++ starker Bewuchs

Tabelle 5. Wirkung handelsüblicher Biozide auf die Mikroorganismen aus der Wieskirche

Biozid	Biozid-Konz. %	Hemmung	
		Bakt.	Pilze
Mergal S97	1.0	+++	++++
	0.1	++	++++
	0.001	—	—
Mergal S89	1.0	—	++++
	0.1	—	++
	0.001	—	—
Mergal HS21	1.0	—	-++
	0.1	—	+
	0.001	—	—
Metatin	1.0	—	++
	0.1	—	++
	0.001	—	—
Preventol R50	1.0	—	+
	0.1	—	—
	0.001	—	—
Preventol R80	1.0	—	++
	0.1	—	—
	0.001	—	—
Parmetol DF12	0.1	+++	++++
	0.1	++	+++
	0.001	—	—
Parmetol DF19	1.0	—	++
	0.1	—	+
	0.001	—	—
Parmetol DF18	1.0	++	++++
	0.1	+	++++
	0.001	—	—
VP 29/02	1.0	—	—
	0.1	—	—
	0.001	—	—
TPI 1276/10 ml	0.01	—	—
	0.005	—	—
	0.001	—	—

++++ = sehr starke Hemmung + = sehr schwache Hemmung
 +++ = starke Hemmung — = keine Hemmung
 ++ = schwache Hemmung

aus der Wies nachweisen. Daher dürften diese Mittel bei der Anwendung an den Deckenmalereien der «Wies» die beste Wirkung erzielen und können aus diesem Grund empfohlen werden. Gerade diese Präparate weisen aber einen extrem niedrigen pH-Wert auf.

Nach den Vortests im Labor wurden Testflächen am Objekt mit unterschiedlichen Bioziden behandelt. Diese Flächen wurden nach einer Vorreinigung mit Biozidlösungen bekannter Konzentrationen eingestrichen.

Es wurden hier auf Wunsch der beteiligten Restauratoren teilweise auch weitere Mittel geprüft. Als Testflächen wurden Bereiche mit starker Vergrauung ausgewählt.

Einige Monate nach der Anwendung wurden den jeweiligen Testflächen Proben entnommen und der Erfolg der Maßnahmen im Laboransatz sowie im Rasterelektronenmikroskop überprüft.

In allen Fällen war es gelungen, das auf der Epidermis ausgebildete Pilzmyzel durch die mechanische Reinigung zu entfernen. Dennoch ließen sich von einigen Proben noch lebensfähige

Mikroorganismen anziehen, die offensichtlich die tiefer liegenden Bereiche besiedelten, die von der Oberflächenreinigung selbstverständlich nicht erfaßt werden konnten (Abb. 17, 21).

Tabelle 6 belegt die unterschiedliche Wirksamkeit der aufgetragenen Biozide. Zu der weiteren Beurteilung dieser Ergebnisse muß gesagt werden, daß die mit Bioziden bearbeiteten Probenflächen naturgemäß nicht absolut gleichwertig waren. Neben der offensichtlich unterschiedlichen Pigmentierung wiesen besonders die Flächen 5 und 12 b eine extrem starke oberflächliche Fixierung auf, die den anderen Probenstellen weitgehend fehlte. Diese Fixierung ihrerseits kann aber sehr wohl die Wirksamkeit der Biozide beeinflussen und somit einen direkten Vergleich erschweren. Im Einzelnen wiesen die mit Preventol D3 (von uns im Labortest nicht bearbeitet) behandelten Proben eine durchgehend hohe bakterielle Besiedlung auf. Hier konnten acht Isolate erzielt werden. Bei vergleichbarer Konzentration wurden mit dem Präparat Parmetol DS 12/HS 25 nur zwei Isolate erzielt.

Auf Grund der höheren Konzentration im Vergleich zu dem ebenfalls benutzten Mergal S 97 (1:99, 1:50, 1:20) ist bei vergleichbarer Wachstumshemmung das Mergal aus Sicht des Mikrobiologen zu bevorzugen, wobei allerdings unter Berücksichtigung der möglichen Beeinträchtigung des Materialverbandes auf/in der Wand der relativ niedrige pH-Wert zu erwähnen ist. Dieselbe Hemmwirkung wurde mit Metatin 58 bei vergleichbarer Konzentration (1:20) erzielt.

Von der Thymolanwendung wurde auf Grund von Erfahrungen aus der Beprobung der Wandmalereien im Stift Nonnberg (Salzburg) abgeraten. Die Pilzarten, die dort eine erhebliche Resistenz gegenüber Thymol erworben haben, gehören zumindest teilweise Gattungen an, die auch in der «Wies» mit mehreren Arten vertreten sind. Ein weiterer Laboransatz zur Biozidwirkung beschränkte sich nach den vorherigen Ergebnissen auf die Präparate Mergal S97, Metatin 58 und Parmetol DF 12. Gegenüber den nach der Beprobung der Biozidoberflächen noch erzielten Mikroorganismen ergab sich (selbstverständlich mit Ausnahme der Metatin-Probefläche) für Metatin die stärkste Hemmwirkung.

Nach diesen Ergebnissen wurde eine Kombination der Präparate Mergal S97 und Metatin 58 empfohlen. Von einer Vorreinigung mit Wasser ohne Biozidzusatz mußte nachdrücklich abge-

raten werden, da die Zufuhr von Wasser die im Objekt vorhandene mikrobielle Besiedlung aktiviert und zu ihrer Vermehrung und Verbreitung, aber auch zu einer deutlichen Verdünnung der im Anschluß applizierten Biozide durch die enthaltene Reinigungsrestfeuchte führt. Beide Effekte müssen unbedingt vermieden werden. Weitere Ausführungen zur Problematik der Biozidanwendung werden im folgenden Abschnitt angesprochen.

Biozidanwendung auf Wandgemälden

Nach sorgfältiger Abwägung der Vor- und Nachteile der Anwendung von Hemmstoffen wurde auf Grund der starken Besiedlung der Deckenmalerei durch aggressive Mikroorganismen sowie der regelmäßig auftretenden Kondensationsereignisse im Falle der Wieskirche vorgeschlagen, Biozide einzusetzen. Dennoch sollte gerade an dieser Stelle auch eindringlich auf die möglichen Gefahren hingewiesen werden, die beim Einsatz von Hemmstoffen auftreten können. Zunächst sollten die Begriffe biozid – biostatistisch geklärt werden.

Während ein Biozid zum Verlust der Lebensfähigkeit führt, wird durch eine biostatistisch wirkende Substanz zwar das Wachstum eingeschränkt, aber nach Entfernung der fraglichen Substanz erneut aufgenommen. Die unterschiedliche Wirkungsweise ist in der Regel konzentrationsabhängig. Im Einzelfall können neben Bioziden mit breitem Wirkungsspektrum auch Fungizide mit Wirkung gegen Pilze und Bakterizide mit Wirkung gegen Bakterien eingesetzt werden.

Entgegen anderer Ansichten lassen bei uns erzielte Ergebnisse keinesfalls den Schluß zu, daß es ein Universalmittel gegen alle Arten von Mikroorganismen, die Wandgemälde besiedeln, gibt. Vielmehr wird stets die Prüfung für den Einzelfall erforderlich sein. Leider gibt es derzeit kaum Langzeiterfahrungen über den Einsatz von Bioziden an Wandgemälden, da bisher der Einsatz von Hemmstoffen nur sehr selten erfolgte und auch dann kaum eine Beurteilung nach einem längeren Zeitraum erfolgen konnte, denn in der Mehrzahl der Fälle würde diese eine erneute Gerüstaufstellung mit erheblichen Kosten und allen Gefahren für das einzurüstende Objekt bedeuten.

Gerade diese Nachkontrolle wäre aber erforderlich, um neben der eigentlichen Wirksamkeit am Objekt auch die Verträglichkeit mit den dort vorhandenen Materialien zu überprüfen. Hier sind in Einzelfällen sowohl Verfärbungen der Mittel selbst, aber auch Veränderungen der organischen wie anorganischen Bestandteile möglich. Insbesondere die Reaktion mit den in den Pigmenten enthaltenen Schwermetallen kann bei nicht sorgfältiger Auswahl der Biozide zu Farbveränderungen führen.

Nur wenige Substanzen wie Thymol und Formaldehyd sind leichtflüchtig und daher mehr oder weniger rückstandsfrei anwendbar. Die Mehrzahl der Biozide wird als Salze in Lösungsmitteln auf/in das Objekt gebracht. Damit besteht die Gefahr, daß diese Salze wie andere auch einen Salzschaaden bewirken können. Auch aus diesen Gründen empfiehlt sich die Anlage von Probeflächen am Objekt, wobei auch die anschließende Prüfung im Rasterelektronenmikroskop anzuraten ist.

Sollte trotz dieser Einschränkungen der Einsatz von Bioziden notwendig sein, ist es unbedingt erforderlich, die möglichen Gefahren für den Anwender zu berücksichtigen. Die Mittel, die mit gutem Erfolg gegen die auf/in Wandgemälden siedelnden Mikroorganismen genutzt werden können, werden

Tabelle 6. Erfolg der Biozidanwendung an Testflächen in der Wieskirche

Probenstelle	Biozid	Konzentration	Bakterien-vorkommen	Pilz-vorkommen
Wi IV/1	Preventol D3	1:10	+	—
Wi IV/2	Preventol D3	1:20	+++	—
Wi IV/3	Thymol	?	+	—
Wi IV/5	H ₂ O (Biozid?)	?	—	+
Wi IV/6c	Parmetol	1:20	+	+
Wi IV/7b	Parmetol	1:20	+	+
Wi IV/8b	Parmetol	1:2	+	+
Wi IV/9b	Metatin 85(?)	(5%)	+	—
Wi IV/10b	Mergal S 97	(1%)	+	—
Wi IV/11b	Mergal S 97	(2%)	+	—
Wi IV/12b	Mergal S 97	(5%)	+	—

+ : geringe Besiedlung
 ++ : mäßige Besiedlung
 +++ : starke Besiedlung
 ? : keine weiteren Angaben

auch eine mehr oder weniger starke Giftwirkung für den Anwender besitzen.

Tatsächlich ist die Abschätzung der Gefahr durch unterschiedliche Biozide nur sehr bedingt möglich. Die Angaben der Hersteller hierzu sind nicht ausreichend, um die Gefahren zu beurteilen, da nicht alle Bestandteile angegeben werden. Die Angaben der Toxizität gegen Ratten dürfte kaum als Maß für die Gefährdung übernommen werden.

Aus den hier dargelegten Gründen bildet sich derzeit eine Arbeitsgruppe aus erfahrenen Restauratoren, die in Zusammenarbeit mit Chemikern und Biologen, aber auch mit Medizinern an geeigneten Objekten, die der langfristigen Beobachtung zugän-

gig sind, die bisher als gut beurteilten Mittel anwenden und überprüfen wird.

Präparate, die sich in diesen Testreihen bewähren, sollen danach auch im Hinblick auf die Gefährdung des Anwenders geprüft werden. In jedem Falle sind alle Vorsichtsmaßnahmen einzuhalten, die der Hersteller empfiehlt, das heißt besonders das Tragen von Schutzbrillen, Handschuhen und in der Regel auch Atemschutz.

Keinesfalls darf mit Bioziden leichtfertig umgegangen werden. Das bedeutet selbstverständlich auch, daß Restlösungen als Gefahrenstoffe zu entsorgen sind und nicht etwa in das Abwassersystem oder in die Umwelt gelangen dürfen.

Literatur

E. W. F. Eckhardt, «Zum Vorkommen von Pilzen auf Wandputz, Fresken und Mörtel», in: H. J. Oel (Hrsg.), *Sitzung des Kreises «Naturwissenschaftliche Forschung an Kunstgütern aus Stein»*, Zollern-Institut B, Deutsches Bergbaumuseum, März 1981, S. 85–90.

R. J. Koestler, E. D. Santoro, *Assessment of the Susceptibility to Biodeterioration of Selected Polymers and Resins*, Final report submitted to the Getty Conservation Institute, 1988.

W. E. Krumbein, «Mikrobiologische Untersuchungen an Putzen, Farbanschriften sowie Freskenmalereien der Kirchen von Bardewisch und Pilssum», in: H. J. Oel (Hrsg.), *Sitzung des Arbeitskreises «Naturwissenschaftliche Forschung an Kunstgütern aus Stein»*, Erlangen 1983, S. 87–107.

W. E. Krumbein und C. Lange, «Decay of Plaster, Paintings and Wall Material of the Interior of Buildings via Microbial Activity», in: W. E. Krumbein (Hrsg.), *Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology. The Terrestrial Environment*, v. 2, Ann Arbor Science Publ. Inc., Michigan 1978, S. 687–697.

K. Petersen G. Grote, W. E. Krumbein, «Biotransfer of Metals by Fungi isolated from Rock», in: *VIth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Nicholas Copernicus University Press, Torun 12.–14.9.1988, S. 11–119.

K. Petersen, D. D. Janssen, V. Schostak, K. Bode-Warscheid, W. E. Krumbein, «On the Influence of Restoration Activities on Microbial Biodeterioration of Mural Paintings», in: *Proceedings of the Congress of European Cultural Heritage*, Bologna 1989 (im Druck).

J. P. Petushkova, N. N. Lyalikova, «Microbiological Degradation of Leadcontaining Pigments in Mural Paintings», in: *Studies in Conservation*, v. 31, 1986, S. 65–69.

Für die gute Zusammenarbeit am Objekt bedanken wir uns bei den Mitarbeitern des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege sowie bei allen beteiligten Restauratoren.

Den Technischen Assistenten Frau E. Gründgen, Frau R. Kort, Frau A. Schulte, Frau S. Alsdorf und Herrn M. Pilzen schulden wir großen Dank für ihren unermüdllichen Einsatz in jeder Phase der gesamten Untersuchungen.

Summary

Microbiological Investigations in Die Wies

Scientific investigations of the ceiling paintings of Die Wies identified a massive fungus attack which was responsible for very noticeable graying in many areas. Spots of fluorescence, observable in ultra-violet light, could also be traced back to a fungus attack. In addition to the fungus, a bacterial attack was also found. Because both the fungus and the bacteria are of an aggressive type which would eventually lead to destruction of the affected areas given certain climatic conditions, the materials used for the restoration measures were specially selected

in laboratory studies so that they would provide no basis for nourishment of these microorganisms. Moreover, a cleansing and the application of biocides were strongly recommended. The inhibitory effects and the compatibility of the materials were studied using test areas on the paintings. Thus despite the extreme climatic conditions that prevail in the church the ceiling paintings should no longer be endangered by microorganisms.