

KLIMASTABILISIERUNG UND BAUPHYSIKALISCHE KONZEPTE

Wege zur Nachhaltigkeit bei der Pflege
des Weltkulturerbes

ICOMOS · HEFTE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES XLII
ICOMOS · JOURNALS OF THE GERMAN NATIONAL COMMITTEE XLII
ICOMOS · CAHIERS DU COMITÉ NATIONAL ALLEMAND XLII

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES
CONSEIL INTERNATIONAL DES MONUMENTS ET DES SITES
CONSEJO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS Y SITIOS
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ ПО ВОПРОСАМ ПАМЯТНИКОВ И ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНЫХ МЕСТ

Matthias Exner und Dörthe Jakobs (Hrsg.)

Klimastabilisierung und bauphysikalische Konzepte

Wege zur Nachhaltigkeit bei der Pflege des Weltkulturerbes

Climatic Stabilization and Building Physics

Sustainable Approaches to Safeguarding the World Cultural Heritage

Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS
in Zusammenarbeit mit dem Landesdenkmalamt Baden-Württemberg
Insel Reichenau, 25.–27. November 2004

ICOMOS
DEUTSCHES NATIONALKOMITEE
Geschäftsstelle
Postfach 100 517 80079 München

Bibliothek

ICOMOS · HEFTE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES XLII
ICOMOS · JOURNALS OF THE GERMAN NATIONAL COMMITTEE XLII
ICOMOS · CAHIERS DU COMITÉ NATIONAL ALLEMAND XLII

ICOMOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees
Herausgegeben vom Nationalkomitee der Bundesrepublik Deutschland
Präsident Prof. Dr. Michael Petzet
Vizepräsident Dr. Christoph Machat
Generalsekretär Dr. Werner von Trützschler
Geschäftsstelle: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Hofgraben 4, D-80539 München



Der Beauftragte der Bundesregierung
für Kultur und Medien



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART
LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE

*Gedruckt mit freundlicher Unterstützung
des Beauftragten der Bundesregierung
für Kultur und Medien*

*und des Landesamts für Denkmalpflege
im Regierungspräsidium Stuttgart*

Umschlagvorderseite:

Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer M: Putzergänzungen mit zementhaltigen Mörteln aus der Zeit der Auffindung 1955 (2000; Foto: Archivio Fotografico P.C.A.S., Rom).

Umschlagrückseite:

Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer M: Putzergänzungen in Tuffimitation, um den Wandoberflächen wieder eine homogene Struktur zu verleihen (2000; Foto: Archivio Fotografico P.C.A.S., Rom).

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Satz: Verlagsservice Rau, München

Repro: Foto-Lito Longo, Bozen

Layout: Dr. Matthias Exner

Redaktion: Dr. Matthias Exner und Dr. Dörthe Jakobs

Redaktionelle Mitwirkung: Dr. Ralph-Günther Patocka

Übersetzungen von Vorwort, Geleitwort und Zusammenfassungen ins Englische:
Margaret Thomas Will M.A.

Druck und Bindung: Bosch-Druck, Ergolding

© 2005, ICOMOS, Nationalkomitee der Bundesrepublik Deutschland
und Deutscher Kunstverlag München Berlin
ISBN 3-422-06401-X

Inhalt

<i>Michael Petzet</i> Vorwort / Foreword	4
<i>Dieter Planck</i> Geleitwort / Preface	6
<i>Harald Garrecht</i> Raumklimatische Untersuchungen und bauphysikalische Konzepte. Forschungsergebnisse zur Klimaproblematik im Kloster Maulbronn und im Dom zu Speyer	9
<i>Stefan Simon – Shin Maekawa – Rupert Utz</i> From the Mogao Grottoes to the Margravian Opera House in Bayreuth. Case Studies on the Impact of Visitors on the Moisture Balance of Historic Rooms	19
<i>Thomas Warscheid</i> Microbiology and Archaeology. Microbial Impacts at Historical Sites during Excavation and Conservation ...	35
<i>Helmut F. Reichwald</i> Klimabedingte Schäden an Raum und Ausstattung. Fallbeispiele aus Baden-Württemberg	49
<i>Dagmar Zimdars</i> Klosterinsel Reichenau als Weltkulturerbe. Didaktische Konzepte zur Besucherlenkung bei klimatisch belasteten Objekten	61
<i>Barbara Mazzei</i> La conservazione delle pitture delle catacombe romane. Antichi espedienti e recenti esperienze	65
<i>Giorgio Bonsanti</i> La scoperta del secolo e i suoi problemi fisico-strutturali. Sulle pitture murali recentemente scoperte nel Duomo di Siena	79
<i>Giuseppe Basile – Eugenio Mancinelli – Maurizio Marabelli – Paola Santopadre – Marcella Ioele – Vasco Fassina – Antonio G. Stevan – Roberto Cesareo – Alfredo Castellano</i> The Scrovegni Chapel. Multidisciplinary Research and Environmental Protection	85
<i>Ivan Srša</i> Microclimatic Measurements and Laboratory Research in Historical Buildings with Medieval Wall Paintings at Croatian Adriatic Coast	99
<i>Friedrich Dahm</i> Studien und Wege zur Klimatisierung von Schloss Schönbrunn. Eine Zusammenfassung der bisherigen Maßnahmen	109
<i>Christine Bläuer Böhm</i> Auswirkungen von hydrophoben Fassadenmaterialien auf die Erhaltung und Pflegefähigkeit von Baudenkmälern. Beobachtungen aus der Praxis	117
<i>Ulrike Henes-Klaiber</i> Ursachen und Behandlungsmethoden von Feuchteschäden an historischen Bauwerken	129
<i>Thomas Danzl – Heinz Leitner</i> Einhausung und Klimaregulierung als Mittel präventiver Konservierung von kunststoffbelasteter Wandmalerei. Fallbeispiele in Sachsen-Anhalt	139
<i>Claus Giersch</i> Nutzung und Substanzerhalt. Fallbeispiele aus der praktischen Baudenkmalpflege	153
<i>Claus Arendt</i> Unter welchen Voraussetzungen ist die Beheizung von Kirchen zu bejahen – und wie soll sie durchgeführt werden?	165
<i>Otto Wölbart</i> Winterschutzverkleidungen für witterungsgefährdete Objekte. Anforderungsprofile an den präventiven Schutz	185
<i>Peter Berkenkopf</i> Die Auswirkung von Schutzverglasungen auf Konservierungskonzepte für historische Glasmalereien. Fallbeispiele aus Köln, Trier, Esslingen und Ulm	191
<i>Martha Hör – Jörg Seele</i> Bauphysikalische Untersuchungen zur Gefährdung des Glasmalereibestandes in der Nürnberger Sebalduskirche. Möglichkeiten und Grenzen der Wirksamkeit von Außenschutzverglasungen	199
Tagungsprogramm	214
Autorenverzeichnis	215

Vorwort

Mit der Publikation der im November 2004 auf der Reichenau vorgetragenen Tagungsbeiträge widmet das Deutsche Nationalkomitee von ICOMOS erstmals eines seiner Arbeitshefte ausschließlich dem Problemkreis Klimastabilisierung und Bauphysik. Dies geschieht aus der Einsicht heraus, dass die Allgemeinheit sich kurzfristige Restaurierungsintervalle, wie sie in der Nachkriegszeit üblich geworden sind, künftig weder aus konservatorischer noch aus wirtschaftlicher Sicht leisten können. Es zeichnet sich ab, dass die Nachhaltigkeit denkmalpflegerischen Handelns immer mehr als zentrales Thema unserer Zeit begriffen wird, nicht zuletzt unter dem Aspekt begrenzter Ressourcen. Diese Nachhaltigkeit ist aber nur zu erzielen, wenn den bauphysikalischen Fragen die nötige Beachtung geschenkt wird.

Das überwältigend große Interesse an der Reichenauer Tagung mit mehr als 200 Gästen bestätigte die Richtigkeit der Themenwahl. ICOMOS Deutschland konnte Gäste aus Italien, Kroatien, Liechtenstein, Luxemburg, Österreich, der Schweiz und Ungarn sowie aus nahezu allen deutschen Bundesländern begrüßen. Mit der Veröffentlichung der Referate sollen nun nicht nur jene erreicht werden, deren Anmeldung wegen der begrenzten Raumkapazitäten nicht angenommen werden konnte, sondern auch alle Partner der Denkmalpflege, die in den nächsten Jahren mit der Umsetzung der verschiedensten Maßnahmen an Baudenkmalern befasst und dabei in vielfältiger Weise mit dem hier thematisierten Konfliktpotenzial konfrontiert sein werden.

Raumklimatische Probleme und bauphysikalische Stressfaktoren aufgrund von Nutzungsänderungen, Übernutzungen oder ungeeigneten Instandsetzungskonzepten beeinträchtigen vielerorts die Dauerhaftigkeit denkmalpflegerischer Maßnahmen. Nicht selten betreffen solche Fehlentwicklungen gerade die bedeutendsten, vielfach zum Welterbe zählenden Bau- und Kunstdenkmäler, da gerade diese in der Regel besonders hohe Besucherzahlen verkraften müssen. Eine solche Welterbestätte, bei der die aktuellen Probleme mit dem extremen Feuchteintrag durch den stark angewachsenen Tourismus zusammenhängen, ist Oberzell auf der Reichenau, das deshalb als Veranstaltungsort besonders geeignet schien.

Der Ansatz wurde bewusst interdisziplinär gewählt: Restauratoren, Denkmalpfleger, Bauphysiker, Materialkundler und Mikrobiologen haben in den letzten Jahren an verschiedensten Objekten und an Beispielen aus unterschiedlichen Gattungen Untersuchungs- und Kontrollmethoden entwickelt, die einen sinnvollen und wirksamen Umgang mit den skizzierten Problemen versprechen. Dabei kommen sowohl Fallbeispiele aus dem Bereich der Bau- und Kunstdenkmalpflege als auch solche aus dem archäologischen Arbeitsfeld zur Sprache. An herausragenden Beispielen aus Ägypten, China, Dänemark, Frankreich, Italien, Kambodscha, Kroatien, Österreich, Deutschland, der Schweiz und der Türkei sollten die bisherigen Forschungser-

gebnisse in einer repräsentativen Auswahl zusammengefasst und vorgestellt werden. Dabei geht es nicht in erster Linie um Lösungen, die ohnehin jeweils individuell gefunden werden müssen, sondern primär um beispielhafte methodische Ansätze, um Untersuchungs- und Visualisierungsmöglichkeiten, um schwierige Interpretationen von Messungen, vor allem aber um ein breites Problembewusstsein sowie um aktuelle, teilweise unpublizierte Ergebnisse von Forschungsprojekten. Soweit auch konkrete Lösungsansätze vermittelt werden, wurde darauf Wert gelegt auf eine gewisse Pluralität der Möglichkeiten, die den jeweiligen Standortbedingungen Rechnung tragen und von dem vorgeschalteten Informationspavillon in Oberzell bis zu den sehr viel strikteren, mit einer Klimaschleuse kombinierten Maßnahmen zur Besucherdrösselung bei der Arena-Kapelle in Padua reichen.

Die Beiträge der Tagung werden hiermit bis auf das Referat von Jürgen Pursche vollständig und in einer um Anmerkungen und Literaturangaben erweiterten Fassung vorgelegt. Der Abendvortrag von Matthias Exner mit dem Titel „Die ottonischen Wandmalereien der Reichenau. Aspekte ihrer chronologischen Stellung“ erscheint gleichzeitig in der Zeitschrift des Deutschen Vereins für Kunstwissenschaft (Bd. 58, 2004).

Die Tagung auf der Reichenau war nicht die erste ICOMOS-Tagung in Baden-Württemberg, aber die erste gemeinsame Veranstaltung mit dem dortigen Landesdenkmalamt (jetzt Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart). Damit sollten nicht zuletzt die herausragenden Leistungen gewürdigt werden, die von Seiten des Landesdenkmalamts während der letzten zwei Jahrzehnte in die Erforschung wie in die Sicherung und den präventiven Schutz der Georgskirche in Oberzell investiert wurden. Möglich ist dies nur, so lange eine starke Fachbehörde mit den erforderlichen Ressourcen und Befugnissen ausgestattet wird, um ihren Empfehlungen und Vorgaben die nötige Verbindlichkeit zu sichern.

Dem Präsidenten des Landesamts für Denkmalpflege, Herrn Professor Dr. Dieter Planck, sowie seinen engagierten Mitarbeitern gilt mein aufrichtiger Dank für die effiziente Organisation und Durchführung der Tagung. Der Gemeinde Reichenau, vertreten durch Herrn Bürgermeister Volker Steffens, möchte ich auch an dieser Stelle für die gastliche Aufnahme und die Ausrichtung eines Abendempfangs für die Tagungsteilnehmer danken. Die Idee zur Tagung, ihre fachliche wie organisatorische Umsetzung sowie die redaktionelle Bearbeitung der Beiträge wird den ICOMOS-Mitgliedern Dr. Dörthe Jakobs, Stuttgart, und Dr. Matthias Exner, München, verdankt. Ein besonderes Wort des Dankes gebührt dem Beauftragten der Bundesregierung für Kultur und Medien sowie dem Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, ohne deren Druckkostenzuschüsse die Publikation der Tagung nicht möglich gewesen wäre.

Michael Petzet

Foreword

With this publication of the lectures presented at the conference in Reichenau in November 2004, the German National Committee of ICOMOS is for the first time dedicating one of its journals solely to the problems of climate stabilization and building physics. This reflects our recognition of the fact that, from both an economic and a conservation point of view, the general public is no longer going to be able to afford short intervals between restoration interventions on historic buildings and artistic monuments, as had become common in the post-war period. It is becoming clear that the sustainability of preservation treatments must be increasingly understood as a central theme of our time, not least because of the issue of limited resources. Sustainability, however, can only be achieved if the problems of building physics are given the attention they deserve.

The overwhelming interest shown in the Reichenau conference with more than 200 participants confirmed the appropriateness of the theme. ICOMOS Germany welcomed guests from Austria, Croatia, Hungary, Italy, Liechtenstein, Luxembourg and Switzerland, as well as from almost all the German Länder. Through publication of the lectures we hope to reach not only those whose registration for the conference could not be accepted because of the meeting facilities' limited capacities but also all our partners in preservation who will be carrying out various types of interventions on historic buildings over the next years and will thus be confronted in diverse ways with the potential conflicts which are treated here.

In many places indoor climatic problems and stress factors in the field of building physics – as a result of changes in use, excessive use or inappropriate repair plans – have an adverse effect on the durability of preservation work. Our most significant historic and artistic monuments, the World Heritage sites, are not infrequently affected by such undesirable developments because these buildings generally have to withstand a particularly high number of visitors. One such World Heritage site, where current problems with extreme moisture are tied to a great increase in tourism, is Oberzell on the island of Reichenau, which therefore seemed particularly appropriate for the location of the conference.

An interdisciplinary approach was deliberately chosen: in recent years restorers, preservationists, building physics experts, materials researchers and microbiologists, working on a wide range of objects of various types, have developed methods for investigation and control which promise appropriate and effective handling of the problems outlined above. Case studies from historic building and art preservation projects as well as from the field of archaeology are discussed. Based on outstanding examples from Austria, Cambodia, China, Croatia,

Denmark, Egypt, France, Germany, Italy, Switzerland and Turkey, a representative selection of research results is summarized and presented. The primary concern here is not solutions, which anyway have to be worked out individually for every project, but rather exemplary methodological approaches, investigative and visualization possibilities, difficult interpretations of measurements, current (often unpublished) results of research projects, and above all a broad awareness of the problems. Insofar as concrete solutions are described, definitive importance is attached to a plurality of possibilities which take the conditions of a specific location into account. These solutions range from the information pavilion near the church in Oberzell to the much stricter measures to curb visitation, in combination with a climatic "sluice", used in the Arena Chapel in Padua.

The conference lectures (except for the contribution by Jürgen Pursche) are reproduced here in their entirety, with the addition of footnotes and bibliographies. The evening lecture by Matthias Exner, "The Ottonian Wall Paintings in Reichenau. Aspects of their Chronology," is being published simultaneously in the *Zeitschrift des Deutschen Vereins für Kunstwissenschaft* (vol. 58, 2004).

The conference on the island of Reichenau was not the first ICOMOS meeting in Baden-Württemberg, but it was the first to be organized jointly with the State Historic Preservation Office there (now the Landesamt für Denkmalpflege in the Regierungspräsidium in Stuttgart). Tribute should be paid here to the outstanding efforts that the State Historic Preservation Office invested over the last two decades in the study, stabilization and preventive protection of St. George in Oberzell. Such work is only possible as long as a strong specialized office is equipped with the necessary resources and authority to ensure that its recommendations and directives are sufficiently binding.

The president of the State Historic Preservation Office, Prof. Dr. Dieter Planck, and his colleagues deserve my sincere thanks for their efficient organization and execution of the conference. I would also like to thank the community of Reichenau, represented by Mayor Volker Steffens, here for the hospitable accommodations and for the organization of the evening reception for the conference participants. Thanks are due to ICOMOS members Dr. Dörthe Jakobs, Stuttgart, and Dr. Matthias Exner, Munich, for the idea for the conference and its professional and organizational realization as well as for the editing of the lectures. A special word of gratitude also goes to the Federal Commissioner for Culture and Media and to the Landesamt für Denkmalpflege in the Regierungspräsidium in Stuttgart; without their subsidies of the printing costs it would not have been possible to publish these conference proceedings.

Michael Petzet

Das Landesdenkmalamt Baden-Württemberg hat die Initiative von ICOMOS gerne aufgegriffen, eine gemeinsame Tagung auf der Insel Reichenau zu veranstalten. Das Thema „Klimastabilisierung und bauphysikalische Konzepte. Wege zur Nachhaltigkeit bei der Pflege des Weltkulturerbes“ wird zwar vor dem Hintergrund der Welterbestätten behandelt, aber selbstverständlich ist es für Kulturdenkmäler aller Art von Bedeutung.

Ende des Jahres 1993 wurde die einstige Zisterzienserabtei Maulbronn als die am vollständigsten erhaltene Klosteranlage dieser Art nördlich der Alpen als erstes Denkmal aus Baden-Württemberg in die Welterbeliste eingetragen. Im Jahre 2000 folgte die Klosterinsel Reichenau, als ein herausragendes Zeugnis für die große kulturgeschichtliche Bedeutung mittelalterlicher Benediktinerklöster. Sowohl in Maulbronn wie auf der Reichenau brachte die Eintragung in die Liste des Weltkulturerbes steigende Tourismuszahlen mit sich. In Maulbronn sind 1993 92.000 Besucher, im Jahre 1994 169.000, und 2004 ca. 140.000 Besucher gezählt worden.

Von der Insel Reichenau liegen uns keine verlässlichen Zahlen über Tagesbesucher vor. Wir wissen jedoch, dass die Übernachtungen 1999 bei ca. 200.000, im Jahre 2003 bei knapp 220.000 lagen und müssen davon ausgehen, dass die Zahl der Tagestouristen erheblich angestiegen ist. So positiv dies grundsätzlich zu werten ist, muss die Denkmalpflege diese Entwicklung auch kritisch verfolgen, birgt sie doch zugleich große Gefahren für unsere Kulturdenkmäler. Nachvollziehen können wir das ganz konkret in St. Georg in Oberzell, wo die Frage der Klimatisierung und Klimastabilisierung zur Erhaltung der wertvollen Ausstattungsbereiche große Probleme aufwirft.

Das Landesdenkmalamt Baden-Württemberg hat sich in der Vergangenheit, zusammen mit den jeweiligen örtlichen Trägern, für die Welterbestätten in ganz besonderem Maße eingesetzt. So wurde 1997 anlässlich der 850. Wiederkehr der Gründung des Klosters Maulbronn, die Geschichte des ehemaligen Zisterzienserklosters erstmals in einer umfassenden, von unserem Hause herausgegebenen Publikation vorgestellt (Maulbronn. Zur 850-jährigen Geschichte des Zisterzienserklosters, Forschungen und Berichte der Bau- und Kunstdenkmalpflege in Baden-Württemberg 7, Stuttgart 1997). Zusammen mit der staatlichen Bauverwaltung, die für das Kloster unmittelbar zuständig ist, haben wir gemeinsame Maßnahmen beschlossen, um den Erhalt eines Kulturdenkmals zu gewährleisten, das über die Nutzung durch eine Internatsschule hinaus einer enormen Beanspruchung durch den Tourismus ausgesetzt ist.

Das Engagement der baden-württembergischen Denkmalpflege für die Reichenau reicht Jahrzehnte zurück. Verschiedene Fachbereiche von der Inventarisierung über die Planungsberatung, die archäologische Denkmalpflege, die Bau- und Kunstdenkmalpflege, die Photogrammetrie und die Restaurierung waren in der Vergangenheit in vielfältiger Weise tätig. In Mittelzell fanden umfangreiche archäologische Untersuchun-

gen und Bauforschungen statt, während St. Georg eine intensive Betreuung durch die Restaurierung erfuhr. Die Ergebnisse der umfangreichen und in ihrer Methodik wegweisenden Untersuchungen wurden 1999 der Fachwelt vorgelegt (Dörthe Jakobs, St. Georg in Reichenau-Oberzell. Der Bau und seine Ausstattung, Forschungen und Berichte der Bau- und Kunstdenkmalpflege in Baden-Württemberg 9, Stuttgart 1999).

Die Frage des Umgangs mit Welterbestätten war bereits Inhalt einer Tagung im Auftrag der Arge-Alp im März 2003 („UNESCO-Welterbe: Lust und Last“, Arbeitsheft 14 des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg, Stuttgart 2004). Dabei diskutierten Fachleute verschiedener Disziplinen auch die auf der Reichenau bestehenden Probleme. Im Zuge der Wartungen dieser Kirchen wurden Verschmutzungen in einem Maße konstatiert, die kürzere Intervalle für Eingriffe notwendig machen. Hier ist besonders mikrobiologischer Befall in St. Georg hervorzuheben. Es hat sich gezeigt, dass hohe Luftfeuchtigkeit und Kondensation den biologischen Befall der Wandmalereien besonders fördern kann. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde es notwendig, Maßnahmen zur Besucherlenkung zu planen, die wir hoffentlich gemeinsam mit der Gemeinde Reichenau in nächster Zeit umsetzen können. Frau Dr. Dagmar Zimdars und Herr Helmut Reichwald berichten darüber im vorliegenden Heft. Mit Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg und fachlich beraten durch das Landesamt für Denkmalpflege plant das Regierungspräsidium Freiburg die Einrichtung dreier Besucherinformationsstätten in Oberzell, Mittelzell und Niederzell als Bestandteil einer sinnvollen Besucherregulierung.

Die Pflege der uns anvertrauten Kulturdenkmäler, insbesondere natürlich der besonders bedeutenden, ist eine Aufgabe, der wir uns stets mit großem Sachverstand widmen müssen. Daher hat es mich gefreut, dass das Tagungsthema auf so breites Interesse gestoßen ist.

Ich möchte an dieser Stelle nochmals allen Referentinnen und Referenten für ihre Bereitschaft zur Mitarbeit an der Tagung danken. Mein Dank gilt weiterhin all denjenigen, die zum Gelingen der Tagung beigetragen haben, insbesondere den vielen Helferinnen und Helfern im Tagungsbüro. In den Dank mit einbeziehen möchte ich auch das Referat Öffentlichkeitsarbeit unseres Hauses, insbesondere Frau Dr. Sabine Leutheusser-Holz, die für die Organisation verantwortlich zeichnete. Mein Dank gilt ebenso Frau Dr. Dörthe Jakobs aus unserem Hause und Herrn Dr. Matthias Exner vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, die das Projekt bis zur Veröffentlichung des Tagungsbandes federführend in Händen hatten. Dank gilt der Gemeinde Reichenau für die Gastfreundschaft und Mitwirkung bei der Organisation dieser Tagung. Zuletzt möchte ich dem Präsidenten von ICOMOS, Herrn Prof. Dr. Michael Petzet, meinen Dank für die konstruktive Kooperation und sein engagiertes Eintreten für eine „starke“ Denkmalpflege in der politischen Landschaft von Baden-Württemberg aussprechen.

Dieter Planck

Preface

The Baden-Württemberg State Historic Preservation Office was glad to take up the ICOMOS initiative to organize a joint conference on the island of Reichenau. Although the conference theme, "Climatic Stabilization and Building Physics – Sustainable Approaches to Safeguarding the World Cultural Heritage" was discussed before the background of World Heritage sites, it is of course a topic of significance for cultural monuments of all types.

In late 1993 the former Cistercian abbey Maulbronn became the first monument from Baden-Württemberg to be inscribed on the World Heritage List, as the most completely preserved monastery complex of this type north of the Alps. In 2000 the monastery island of Reichenau was also declared a World Heritage Site, as outstanding evidence of the great cultural-historical significance of medieval Benedictine monasteries. In Maulbronn as well as on the island of Reichenau inscription in the World Cultural Heritage List brought about an increase in the number of tourists. In Maulbronn 92,000 tourists were counted in 1993, 169,000 in 1994, and c. 140,000 in 2004.

We have no reliable figures for daily visitors to the island of Reichenau, but we know that the number of overnight stays was c. 200,000 in 1999 and c. 220,000 in 2003; we can assume that the number of day tourists has grown considerably. As positive as this development is in principle, nonetheless preservation professionals must also pursue this trend critically, since it in fact simultaneously harbors great dangers for our cultural monuments. We can observe this problem quite concretely on the example of St. George in Oberzell, where the issue of climate control and stabilization raises major problems for the preservation of the valuable works of art.

In the past the Baden-Württemberg State Historic Preservation Office, in conjunction with the relevant local representatives, has given very special support to the World Heritage sites. For instance in 1997, on the occasion of the 850th anniversary of the founding of Maulbronn Monastery, our office published for the first time a comprehensive volume on the history of the former Cistercian monastery (Maulbronn. Zur 850jährigen Geschichte des Zisterzienserklosters, Forschungen und Berichte der Bau- und Kunstdenkmalfpflege in Baden-Württemberg 7, Stuttgart 1997). In cooperation with the State Building Administration, which is directly responsible for the monastery, we decided upon joint work measures to guarantee preservation of a cultural monument that is subjected to enormous strains from tourism, in addition to its use as a boarding school.

The commitment of Baden-Württemberg's preservation professionals to the island of Reichenau goes back decades. Experts in various fields, including inventORIZATION, advisory services for planning, archaeology, practical preservation, photogrammetry and restoration, have been active in diverse ways in the past. Extensive archaeological investigations and building research were carried out in Mittelzell. Special mention should

be made of the restoration campaign in St. George in Oberzell, from 1982 to 1990, under the intensive supervision of the Baden-Württemberg State Historic Preservation Office. The results of the comprehensive investigations with their pioneering methodology were presented to professional circles in 1999 (Dörthe Jakobs, St. Georg in Reichenau-Oberzell. Der Bau und seine Ausstattung, Forschungen und Berichte der Bau- und Kunstdenkmalfpflege in Baden-Württemberg 9, Stuttgart 1999).

The handling of World Heritage sites was already the subject of a conference under the auspices of Arge-Alp in March 2003 ("UNESCO-Welterbe: Lust und Last", Arbeitsheft 14, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2004). Experts from various disciplines discussed problems which also exist on the island of Reichenau. In the course of maintenance of the Reichenau churches such extreme soiling was diagnosed that ever-shorter intervals between interventions were necessary. The microbiological attacks in St. George were especially extreme. It became apparent that high humidity and condensation can particularly promote biological attack on wall paintings. This knowledge made it necessary to plan measures to manage visitation, measures which we hope can be put into action in the near future in cooperation of the community of Reichenau. Dr. Dagmar Zimdars and Helmut Reichwald report on this project in the present publication. With funds from the Baden-Württemberg State Foundation and professional advice from the State Historic Preservation Office, the Regierungspräsidium in Freiburg is planning construction of three visitor information sites in Oberzell, Mittelzell and Niederzell, as one component of an appropriate regulation of visitors.

The care of the cultural monuments that have been entrusted to us, in particular of course the especially significant ones, is a task to which we must devote great professional expertise. Therefore I was particularly pleased that this conference topic met with such broad interest.

On this occasion I would again like to thank all the speakers for their readiness to participate in the conference. My thanks also go to all those who contributed to the success of the conference, in particular the many helpers in the conference office. This includes my office's public relations department and in particular Dr. Sabine-Leutheusser-Holz, who was responsible for organization of the conference. Dr. Dörthe Jakobs from my office and Dr. Matthias Exner from the Bavarian State Historic Preservation Office, who directed the project from its beginnings all the way to this publication of the conference proceedings, also deserve special thanks, as does the community of Reichenau for the hospitality and assistance in the organization of the conference. Finally, I would like to express my thanks to Prof. Dr. Michael Petzet for his constructive cooperation and his committed support for a "strong" preservation practice in Baden-Württemberg's political landscape.

Dieter Planck



Raumklimatische Untersuchungen und bauphysikalische Konzepte.

Forschungsergebnisse zur Klimaproblematik im Kloster Maulbronn und im Dom zu Speyer

1. Einleitung

Ziel einer jeden Konservierung und Instandsetzung im Denkmalsbereich ist es, nur solche Maßnahmen zur Ausführung kommen zu lassen, die bei möglichst geringem Eingriff in die historische Bausubstanz der Schadensursache sicher und dauerhaft entgegnetreten und mit denen die geschädigten Bauwerksbereiche wieder in einen für die Erhaltung, Unterhaltung und Nutzung geeigneten Zustand geführt werden können.

Bei Kulturdenkmälern wie Kirchen, Klöstern, Schlössern und Museen sind es häufig gerade die klimatischen Randbedingungen, die für die Erhaltung der Substanz und der Ausstattung von besonderer Bedeutung sind. Neben grundsätzlichen Fragen zu den Auswirkungen des Raumklimas müssen oftmals auch die haustechnischen Installationen hinsichtlich ihrer Eignung im historischen Bestand bewertet werden, um geeignete Verbesserungen zu erarbeiten.

So fordert die Nutzung von Baudenkmalern häufig deren Beheizung bzw. Temperierung. Eine sichere Planung und Bewertung haustechnischer Anlagen erfordert aber ein sicheres Verständnis für die raumklimatischen Verhältnisse in den zumeist sehr großvolumigen Räumen. Aussagekräftige Kenndaten, mit denen die Raumcharakteristik beschrieben werden kann, und Programme, mit denen sich denkmalgerechte Konzepte erarbeiten lassen, sind kaum verfügbar und vielfach wenig erprobt. Auch für unbeheizte Objekte sind nur wenige Erfahrungsberichte publiziert. Gefährdungspotenziale, wie sie durch eine unterlassene, fehlerhafte oder unkontrollierte Belüftung gegeben sind, lassen sich daher ebenfalls nur schwer bewerten.

Am Beispiel zweier langjähriger Untersuchungsobjekte, dem Dormentbau der Klosteranlage Maulbronn (Abb. 1–3) und dem Kaiser- und Mariendom zu Speyer (Abb. 8), werden heutige technische Möglichkeiten aufgezeigt, mit denen die raumklimatischen Verhältnisse sicher erfasst und bewertet werden können. Mit Kenntnis der Raumklimasituation können die Beanspruchung der Bausubstanz, die Gefährdung der wertvollen Ausstattung und nicht zuletzt auch die Folgen einer Nutzung sicher beurteilt werden. Schließlich können auf dieser Grundlage aufbauend denkmalgerechte Maßnahmen herausgearbeitet werden, mit denen der weiteren Schadensentwicklung wirksam entgegengetreten werden kann.

An beiden Objekten wurden Regelungen für den natürlichen bzw. erzwungenen Betrieb von Systemen zur Be- bzw. Entlüf-

tung in Abhängigkeit von Raumklimakennwerten und äußeren Witterungseinflüssen unter restauratorischer Begleitung entwickelt, so dass durch den kontrollierten Betrieb von Lüftern bzw. durch das gezielte Öffnen und Schließen von Fenstern einer fortschreitenden Schädigung der historischen Substanz entgegengewirkt wird.

In beiden Objekten kam ein neues und innovatives kabel- und funkbasiertes Klimamesskonzept zum Einsatz, das vielfältige weitere Einsatzmöglichkeiten bietet. So werden auch an einigen anderen, bereits realisierten bzw. noch laufenden Projekten verschiedenste Fragestellungen analysiert, die trotz der Unterschiedlichkeit in den restauratorischen, nutzungsspezifischen und wissenschaftlichen Details allesamt belegen, dass mit Klimamessungen und den zugehörigen materialkundlichen Untersuchungen ein wesentlicher Beitrag zur Substanzsicherung von historischer Bausubstanz geleistet werden kann. Nicht zuletzt zeigen diese praktischen Beispiele auch, dass sich die nicht selten folgenschwere Auswirkung einer Nutzung messtechnisch sicher bewerten lässt und im Bedarfsfall dann mittels einer kontrollierten Einflussnahme das Raumklima in denkmalgerechter und kostengünstiger Weise in einem günstigen Bereich halten lässt. Auch lässt sich mit einer kontrollierten Betriebsweise von Beheizung bzw. Temperierung mit Hilfe der Mess- und Regeltechnik im Sinne der Substanzsicherung das Raumtemperaturniveau in historischen Räumen deutlich absenken und vergleichmäßigen, ohne dass das Behaglichkeitsempfinden der Nutzer eingeschränkt wird. Nicht zuletzt kann so auch der Energiebedarf für die Beheizung bzw. Temperierung der zumeist großen historischen Räume erheblich reduziert werden.

2. Raumklimaproblematik in historischen Bauwerken

Schäden an Raumschale und Ausstattung historischer Bauwerke können oftmals auf ungünstige Raumklimaverhältnisse zurückgeführt werden.¹ So stellen sich gerade in gering oder nicht beheizten Räumen während feuchtwarmer Winter-, Frühlings- und Frühsommertage erhebliche Tauwasserbildungen auf den kalten Oberflächen der massiven Wände, Böden und Gewölbe ein, sobald feuchtwarmer Außenluftmassen Zugang in das noch ausgekühlte Gebäude finden. Demgegenüber ist die Tauwassergefahr in temperierten oder gar beheizten Gebäuden infolge der wärmeren Bauteiloberflächen meist geringer. Zur Minimierung der Energiekosten werden historische Bauwerke in der Regel nur bei Bedarf beheizt oder temperiert. Entsprechend hohen Klimaschwankungen ist die Raumschale wie auch die Ausstattung der historischen Räume unterworfen, die aber aus konservatorischer Sicht meist eine gleichförmige Klimasicht erfordern.

Auch die Besucher großvolumiger Räume, so etwa großer Kirchen, klagen oftmals über erhebliche Beeinträchtigungen durch starke Luftbewegungen. Diese entstehen nicht zuletzt durch eine starke und ungleichförmige Beheizung von histori-

¹ Claus ARENDT, Heizung – Problemfall historische Räume, Folge 4 Schadensbilder, Beispiele, Empfehlungen, in: Bausubstanz Nr. 3, 1992, S. 50–52; Helmut KÜNZEL, Bauphysik-Geschichte(n) Nr. 14 – Lüften in Kirchen und Kellern, in: ARCONIS, 7, 2002, Nr. 1, S. 40–43.



Abb. 2. Maulbronn, Kloster, Dormentbau, Laienrefektorium, Südwand: Trennwand zur sog. Geißelkammer (1995).

schen Räumen während der kalten Wintertage. Gerade in den kalten Witterungsperioden werden z.B. die Kirchenräume vor Feiertagen oftmals kurzzeitig gut geheizt, um den Besuchern in der Kirche einen möglichst angenehmen Aufenthalt zu sichern. Je kälter es ist, umso mehr Wärme muss von der Heizung erzeugt und in den Raum geführt werden. Die Wärme wird zumeist entweder konvektiv z.B. mittels Warmluftheizung oder mittels Strahlung in Form einer Fußbodenheizung an die Raumluft abgegeben. Daneben findet sich in Kirchen auch häufig eine Kirchenbankheizung.

Die vom Heizsystem erwärmten Luftmassen steigen infolge der unterschiedlichen Dichte von warmer und kalter Luft in höhere Raumbereiche auf. An den kalten Wandoberflächen bzw. den zumeist einfachverglasten kalten Fenstern kühlt sich

die warme Luft wieder ab und fällt nach unten wieder in den Raum zurück. Besucher, die sich hier aufhalten, verspüren dies meist als sehr unangenehmen Luftzug, der oft auch als Fallwind empfunden wird.

Um das Behaglichkeitsempfinden der Besucher zu verbessern, wird oft versucht, die Raumtemperatur mehr oder weniger stark anzuheben, so dass das Heizsystem noch mehr Wärme an den Raum abgeben muss. Anstatt einer Verbesserung bewirkt diese Form des Heizbetriebs aber zumeist eine Verschlechterung, da die Abgabe einer stärker erwärmten Luftmasse auch eine höhere Raumluftströmung zur Folge hat.

Eine starke Luftbewegung hat aber nicht nur Folgen für das Behaglichkeitsempfinden der Besucher. Große Luftströmungen führen auch zu einem Transport von feinsten Schmutz- und



Abb. 3. Maulbronn, Kloster, Dormentbau, Laienrefektorium, Ostwand, nördliches Joch (1995).

Staubpartikeln, die mit der Warmluft an die kalten Wand- und Deckenoberflächen geführt werden. An den rauen Oberflächen von Putzen, Mauerwerk und Ausstattung bleiben die Schmutzpartikel haften und führen allmählich zu einer optisch deutlich sichtbaren Verschmutzung, die nach einer gewissen Zeit zumindest eine Reinigung erfordert.

Als wesentlich problematischer erweist sich die Ablagerung von Schmutzpartikeln, wenn nicht nur Schmutz- und Staubpartikel, sondern auch wasserdampfreichere Luftmassen zu den kalten Bauteiloberflächen geführt werden. Sobald bei der Abkühlung der feuchtwarmen Luft an der Wandoberfläche die Taupunkttemperatur der Luft unterschritten wird und sich Kondensat auf der Wandoberfläche niederschlägt, bleiben die mit der Warmluft geführten Partikel auf der feuchten Oberfläche

haften. Eine rasche Verschmutzung ist die Folge, die zudem in Verbindung mit der auskondensierten Feuchte chemisch-mineralogische Umbildungen, Quell- und Schwindvorgänge an den Fassungen bewirken kann und so zu einer allmählichen Schädigung der wertvollen Oberflächen führt.

Stete Raumklimaschwankungen wirken sich aber auch auf die Raumausstattung schädigend aus. Nicht selten erfordern raumklimatisch bedingte Schäden an hölzernen Einbauten wie wertvollen Altären, an historischen Textilien wie auch an materialreichen Malereien und Fassungen eine aufwendige restauratorische Bearbeitung. Nicht zu vergessen die Problematik des Heizbetriebs in Kirchenbauwerken, in denen die Orgel besonders hohe Anforderungen an das Raumklima stellt.

3. Klimaproblematik im Erdgeschoss des Dormentbaus der Klosteranlage Maulbronn

Als Beispiel einer raumklimatisch besonders problematischen Beanspruchung soll nachfolgend die Raumklimasituation der Frateria im Erdgeschoss des Dormentbaus der Klosteranlage Maulbronn erörtert werden (Abb. 1–3).

Hier ist es vor allem die Tauwasserproblematik, die in dem unbeheizten Raum über die Jahrhunderte zu einer immer deutlicheren Schädigung der noch erhaltenen originalen Fassungen aus dem 15. Jahrhundert führten. Bereits im Zuge von Restaurierungsarbeiten Mitte des 20. Jahrhunderts wurde die besondere Problematik der Raumbelüftung erkannt und am Mauerfuß der östlichen Außenwand zum Garten hin an drei Stellen eine Öffnung mit einem Durchmesser von 80 mm gebohrt, um einen steten Luftwechsel zu sichern und so Feuchte aus dem Raum abzuführen. Dennoch konnte der Substanzverlust auch in den darauf folgenden Jahrzehnten nicht gestoppt werden, da sich der gewünschte Luftwechsel über die Öffnungen alleine nicht einstellte.

Im Zuge umfassender restauratorischer Arbeiten seitens des Sonderforschungsbereiches (SFB) 315 der Universität Karlsruhe „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke“ wurden in interdisziplinärer Zusammenarbeit das Ausmaß der Schäden und deren Ursachen erarbeitet, um Konzepte zur Sicherung und Erhaltung der historischen Substanz und der besonders wertvollen Fassungen zu entwickeln.²

In nicht oder nur gering beheizten Räumen kommt während der Winter-, Frühlings- und Frühlingsperioden der Belüftung eine große Bedeutung zu. Ein rascher Luftwechsel über Fenster und Türen wirkt sich dabei in kleineren unbeheizten Räumen hinsichtlich des Tauwasserausfalls stärker aus als in großen. Ob kleiner oder großer Raum, häufige Praxis von Kirchengemeinden ist es z.B., die in der kalten Winterperiode ausgekühlten Kirchenräume während der wärmeren Frühlingstage intensiv durch das Öffnen von Türen und Fenstern zu belüften, um so die Raumtemperatur durch die eintretenden warmen Außenluftmassen anzuheben. Dabei verursachen die eintretenden feuchtwarmen Luftmassen auf den noch kalten Bauteiloberflächen zwangsläufig große Tauwasserausfälle, die als Folge der Feuchtelast die verschiedenartigsten Schäden an Putzen und Fassungen bewirken können.³

Demgegenüber konnte sich über die drei Öffnungen an der Ostwand der Klosteranlage Maulbronn wie auch über die offe-

ne Rosette an der gegenüberliegenden Westwand zum Kreuzgang hin kein ausreichender Luftwechsel einstellen. Jedem, der den Raum von außen betreten hat, wurde der äußerst hohe Feuchtegehalt bereits durch die muffige Luft offenkundig.

Um dem fortschreitenden Verlust originaler Putz- und Fassungsbstände zu begegnen, wurden von 1987 an neben den naturwissenschaftlichen, restauratorischen, baugeschichtlichen und kunstgeschichtlichen Untersuchungen auch eingehende Untersuchungen zum Raumklima und dessen Folgen auf die Bausubstanz vorgenommen.

Im Jahrbuch 1997/98 des SFB wurde bereits ein umfassender Überblick über die damaligen Arbeiten gegeben, die vor allem die Probleme der aufsteigenden Feuchte und der Bewertung des jahreszeitlichen Gangs des Raumklimas untersuchten.⁴

Als Ergebnis der mehrjährigen umfassenden Untersuchungen, die neben der Raumklimamessung auch vielfältige experimentelle und theoretische Arbeiten beinhalteten, konnte der besondere Einfluss der aufsteigenden Feuchte auf die Schäden des Sockelmauerwerks bewertet werden. Da bautenschutztechnische Eingriffe am Weltkulturerbe nicht vorgenommen werden konnten und sollten, wurden geeignete, die Substanz konservierende Maßnahmen erarbeitet. So wurde im Sockelmauerwerk ein Opferputz aufgetragen, um einen weiteren Verlust von originaler Substanz des Mauerwerks zu vermeiden. Außerdem war das Raumklima zu optimieren, um eine gleichförmige Feuchteabgabe zum Raum in Form der Trocknung zu ermöglichen. Entsprechend sollten die oberflächennahen Bauteilbereiche über weite Strecken eines Jahres hinweg einen nahezu trockenen Zustand einnehmen, sobald die Trocknungsrate im Sockelbereich und an der Bodenoberfläche größer als die aus dem Baugrund aufsteigende Feuchte ist.

Auch in den höher gelegenen Wandabschnitten und an den Gewölben konnte das ungünstige Raumklima für die starken Schäden an den Fassungen verantwortlich gemacht werden. Auch hier wurde als eine zwingend notwendige Maßnahme die Optimierung des Raumklimas erachtet.

Entsprechend wurde die bereits seit langem betriebene Messeinrichtung im Jahr 1998 komplett umgerüstet und in ein rechnergestütztes Mess- und Regelsystem umgewandelt. Hiermit sollte eine gezielte Einflussnahme auf das Raumklima erzielt werden, um mit einer mikroklimatischen Bewertung der wertvollen Fassungen zutreffende Aussagen etwa zur Feuchtelast durch Tauwasser zu erhalten.

Wesentlicher Bestandteil der Einrichtung ist neben der zentralen Rechereinheit zur Messwerterfassung auch ein Regelkreis, der abhängig von außen- und raumklimatischen Verhältnissen drei Lüfter ansteuert. Sobald günstige Außen-



² Harald GARRECHT, Reduzierung der raumklimatischen Beanspruchung der Raumschalen im Dormentbau des Klosters Maulbronn, in: Jahrbuch des Sonderforschungsbereiches (SFB) 315 – Universität Karlsruhe 1997/1998, Karlsruhe 2000, S. 223–235.

³ ARENDT, Heizung (Anm. 1), S. 50–52; KÜNZEL, Bauphysik (Anm. 1), S. 40–43.

⁴ GARRECHT, Reduzierung (Anm. 2), S. 223–235.

⁵ Harald GARRECHT – Jochen HUBER, Untersuchungen zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch energetisch sanierter Wohngebäude, in: 11. Bauklimatisches Symposium, TU Dresden, Dresden 2002, S. 54–63.

Abb. 4. Maulbronn: Prototyp einer Lüftereinrichtung für den Einsatz im Dormentbau des Klosters.



Abb. 5. Maulbronn, Kloster, Dormentbau, Laienrefektorium: Lüftergehäuse für den Dauerbetrieb mit Integration funkbasierter Messbaugruppen.

klimaverhältnisse vorherrschen, wird der Raum durch die Inbetriebnahme der Lüfter intensiv belüftet. Auf diese Weise kann die Abtrocknung des durch aufsteigende Feuchte belasteten Sockelmauerwerks sichergestellt werden. Bei ungünstiger Witterung hingegen, sobald die Gefahr einer Tauwasserbildung gegeben ist, werden die Lüfter abgeschaltet.

In einer ersten Versuchsphase wurden sogar die Zuluftöffnungen mechanisch geschlossen. Bereits wenige Wochen nach der Inbetriebnahme der Mess- und Regeleinrichtung konnten deutlich verbesserte Raumklimaverhältnisse im Nahfeld der Wandfassungen beobachtet werden. Im Sockelbereich wie auch auf dem Boden zeichnen sich seither die in der Vergangenheit im Winter und Frühling stets feuchten Mauerwerksoberflächen und Sandsteinplatten mit Ausnahme einiger weniger, besonders kritischer Tage immer als trocken ab. Die begleitenden restauratorischen Untersuchungen belegen seither auch, dass ein weiterer Substanzverlust durch ein vergleichsweise stabiles Raumklima um 80 bis 85 % relativer Feuchte vermieden werden konnte.

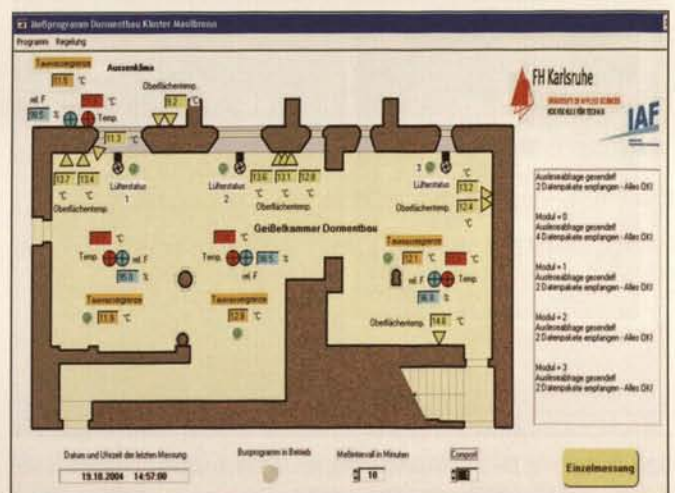
In Abbildung 4 ist ein Prototyp der Lüftungseinrichtung dargestellt. Zwei in einem Gehäuse angeordnete Lüfter konnten abhängig von den Raum- und Außenklimaverhältnissen Luft in

Abb. 6. Maulbronn, Kloster, Dormentbau: Benutzeroberfläche des laufenden Mess- und Regelsystems.

den Raum einziehen oder ausblasen oder den Lüftungsbetrieb gänzlich einstellen. Die drei Anlagen wurden mit Alu-Flexrohren über die bereits bestehenden Öffnungen nach außen verbunden. Alle drei Lüfter konnten einzeln angesteuert werden. Außerdem wurde zur Optimierung der Raumluftströmungsverhältnisse während der Versuchsphase die Einblasrichtung und der eingeblasene Luftvolumenstrom optimiert. So wurden maximal 500 Liter Luft pro Stunde in den ca. 400 m³ großen Raum geführt.

Als Folge der positiven Ergebnisse der Versuchsphase wurde die Anlage im Jahr 2002 in ein für den Dauerbetrieb geeignetes neueres System umgebaut. Hier kam ein im Rahmen eines Forschungsvorhabens von der Fachhochschule Karlsruhe mit einem Industriepartner gemeinsam entwickeltes, neues funkbasiertes Mess-System zum Einsatz, mit dem auf eine störende Kabelführung in der Frateria verzichtet werden konnte.⁵ Zentrales Herz der Messeinrichtung ist der Leitreechner der im Technikraum des Klosters untergebracht wurde. Von hier wurde eine Busdatenleitung bis in den der Frateria und Geißelkammer benachbarten Keller geführt, wo dann eine Funk-Sende-Empfangsbaugruppe angeschlossen wurde, die mit allen Messbaugruppen per Funk kommuniziert. Die Messbaugruppen, die für die Aufnahme der Raumluftsensoren und der Oberflächentempersensoren erforderlich sind, wurden in den neuen Lüfterboxen integriert, die vom Staatlichen Vermögens- und Hochbauamt Pforzheim in Anlehnung an die sonstigen im Kloster aufgestellten Schautafeln, Beleuchtungseinrichtungen etc. entwickelt wurden (Abb. 5).

Jede Messbaugruppe weist 8 digitale und 8 analoge Kanäle auf, mit denen die im Nahfeld der jeweiligen Lüftereinheiten positionierten Oberflächentemperaturfühler und Raumluftfeuchte- sowie Raumlufttemperatursensoren ausgelesen werden. Die Signale aller Messfühler werden minütlich vom Leitreechner abgefragt. Von den in den Lüfterboxen eingebauten Funkmessmodulen werden über kurze Kabel die diversen, zur Bewertung der mikroklimatischen Beanspruchungen erforderlichen Sensoren erschlossen. Insgesamt sind im Raumbereich von Frateria und Geißelkammer mehr als 50 Sensoren installiert, mit denen die raumklimatischen Verhältnisse erfasst und bewertet werden können. Abhängig vom Bewertungsergebnis prüft der Rechner dann, ob durch den Betrieb eines oder mehrerer Lüfter eine Verbesserung der Raumluftverhältnisse möglich ist.



Neben den gemessenen Raumklimadaten sind für die Entscheidungsfindung vom Rechner weitere Kriterien zu bewerten. So soll die Raumluftfeuchte im Jahresgang möglichst gleichförmig zwischen 80 und 85 % relativer Feuchte liegen. Auch sind große Feuchteänderungen insbesondere im Bereich der besonders wertvollen Fassungen zu vermeiden (hier wurden von den Restauratoren Oberflächentempersensoren auf den Fassungen sorgfältig befestigt). Grund hierfür sind die mit einer starken Klimaveränderung verbundenen Formänderungen durch Schwind- und Quellprozesse oder sonstige Mineralumbildungen, die sich gerade im oberflächennahen Bereich einstellen.

Die kontrollierte Belüftung stellt seither über weite Bereiche des Jahres hinweg günstige Raumluftbedingungen sicher. Insbesondere während der Winter-, Frühlings- und Wintertage garantiert die rechnergestützte Mess- und Regeleinrichtung, dass bei ungünstigen Witterungsverhältnissen durch das sofortige Abschalten der drei Lüftereinrichtungen keine feuchtwarmen Außenluftmassen dem Raum zugeführt werden, die an den ausgekühlten Wandoberflächen des unbeheizten Raumbereiches zwangsläufig zur Tauwasserbildung führen würden.

Die im Sommer 2002 in Betrieb genommene für den Dauerbetrieb ausgelegte Mess- und Regeleinrichtung läuft abgesehen von einzelnen Anfangsschwierigkeiten (Kabelbruch durch Baumaßnahmen und Stromabschaltungen) ohne Unterbrechung. Über einen ISDN-Zugang ist jederzeit ein Zugriff auf das Mess- und Regelsystem möglich, um Softwareoptimierungen und Systemprüfungen vornehmen zu können. Die dialoggeführte Nutzeroberfläche ist in Abbildung 6 wiedergegeben. Begleitende restauratorische Untersuchungen bestätigten nach der Anlagenumrüstung, dass auch mit den neuen, dauerhaft betriebenen Lüftern günstigere Raumluftverhältnisse durch die gezielte Eingriffnahme erreicht werden konnten. Die Feuchtebelastung im aufgehenden Mauerwerk und im Sandsteinboden konnte auch weiterhin deutlich reduziert werden. Auch an den originalen Fassungen in den höher gelegenen Wandbereichen und Gewölben konnte der Schadensbildungsprozess gestoppt werden. Das vergleichsweise gleichförmige Raumklima um 80 bis 85 % relativer Feuchte stellt zudem sicher, dass die früher zu verzeichnenden, hygrisch bedingten Formänderungen unterbleiben und sich Salzumbildungen nur selten einstellen können.

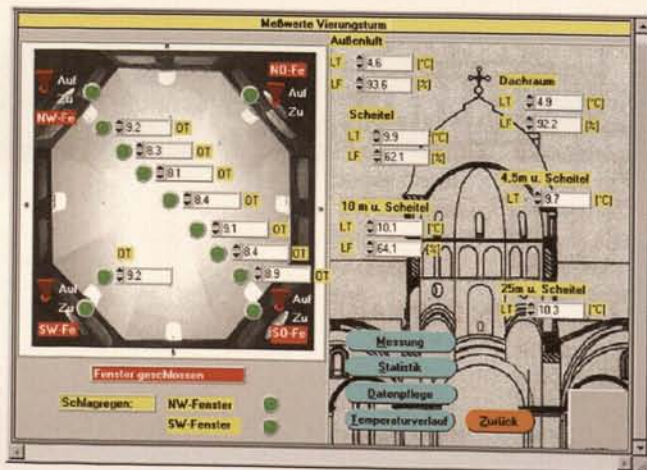


Abb. 7. Speyer, Dom: Visualisierung der im Vierungsturm gemessenen Klima- und Oberflächentemperaturdaten.

4. Raumklimatische Beanspruchungen der Gewölbeputze im Kaiserdom zu Speyer

Bereits in verschiedenen Publikationen wurden die umfassenden Untersuchungen zur raumklimatischen Beanspruchung der Gewölbeputze im Speyerer Dom erörtert, die wie auch der oftmals unzureichende Verbund zwischen Gewölbemauerwerk und Gewölbeputz eine umfassende Restaurierung der Gewölbeputze erforderten.⁶ Die Baumaßnahmen begannen zunächst im nördlichen Querhaus. Um die Ursachen der Schadensbildung zu analysieren, wurde begonnen, das Raumklima aufzuzeichnen. Bereits nach kurzer Messdauer konnte nachgewiesen werden, dass an den Gewölbeputzen während der Übergangsmo-nate bei hohen Raumluftfeuchten Tauwasser ausfällt.

Insbesondere die komplexe Materialzusammensetzung des Vierungsturmes, der neben den ursprünglich verbauten Materialien im Zuge der Sanierungsarbeiten um 1960 auch mit Zementmörteln und Betonen versehen wurde, erforderte eine besonders sorgfältige Bewertung der raumklimatischen Beanspruchung. Entsprechend der im nördlichen Querhaus gewonnenen Erkenntnisse wurde folglich entschieden, vier der acht im Vierungsturm befindlichen Fenster mit elektrischen Motoren zu bestücken, um bei Bedarf die Fenster zur Entspannung der Raumluftsituation öffnen oder schließen zu können.

Um eine geeignete Ansteuerung der Fenster vornehmen zu können, wurde auch im Dom zu Speyer ein rechnergestütztes Messkonzept realisiert, ähnlich wie es oben am Beispiel der Klosteranlage Maulbronn aufgezeigt wurde. So wurde ein umfassendes Messnetz von mehr als 40 Sensoren zur Erfassung der Raumklimaverhältnisse und der Oberflächentemperaturen auf den Gewölbeputzen des Vierungsturmes vom Restaurator installiert.

Erste Messergebnisse zeigten, dass auch im Vierungsturm (Abb. 8) die raumklimatische Belastung besonders ausgeprägt war. Durch das Öffnen und Schließen der Fenster sollten im Bedarfsfall nun feuchtwarme Luftmassen nach außen abgeführt werden können, die dann durch frische und trockenere Außenluft ersetzt würde. Erste Abschätzungen zeigten, dass das Aufstellen der vier Galeriefenster des Vierungsturmes einen guten Luftaustausch ermöglichen sollte und somit zur Entlastung des Raumklimas nachhaltig beitragen kann. Um ein vom Raumklima abhängiges Öffnen und Schließen der Fenster vorzunehmen, wurde die ursprüngliche Messeinrichtung 1998 um entsprechende Regelkreise erweitert.

Die seither im Dachraum des Domes installierte Rechneinheit ruft in sehr kurzen Messzyklen von ca. einer Minute alle Messdaten ab, bewertet diese und visualisiert sie auf einem LCD Monitor. Stellt der Rechner die Gefahr einer Tauwasserbildung fest, prüft er sogleich, ob er durch eine geeignete Ansteuerung der Fenster der Tauwassergefahr entgegen kann.

Die Messanordnung im Vierungsbereich ist in Abbildung 7 dargestellt. Neben den Raumklimaverhältnissen, die in 4 Höhenlagen des Turmes erfasst werden, gehen auch die Werte von mehr als 12 Oberflächentemperaturen der Gewölbeputze in die Bewertung der raumklimatischen Beanspruchung des Vierungs-

⁶ Harald GARRECHT – Harald S. MÜLLER, Raumklimatische Beanspruchung von Raumschalen historischer Bauwerke – Maßnahmen am Beispiel des Speyerer Doms, in: 10. Bauklimatisches Symposium, Technische Universität Dresden, 27./29.9.1999, hg. von Peter HÄUPL und Jürgen ROLOFF, Dresden 2000, S. 833–845.



Abb. 8. Speyer, Dom: Blick in die Vierungskuppel (1999).

turmes ein. Ferner werden die Klimaverhältnisse im Dach des Turmes und im Freien erfasst. Auf den Wetterseiten mussten zudem Regensensoren neben den zu öffnenden Fenstern installiert werden, um im Falle eines Schlagregeneignisses die Fenster unverzüglich schließen zu können. Ansonsten könnte Schlagregen ggf. über die offenen Fenster in den Vierungsturm gelangen und auf den frisch restaurierten Putzflächen abfließen.

Die grafische Benutzeroberfläche erlaubt, die einzelnen Anlagenteile zu konfigurieren, eine Bewertung der Daten vorzunehmen und diese zu visualisieren. Tauwasserausfälle werden durch rote LEDs am jeweiligen Ort kenntlich gemacht. Zudem teilt die Oberfläche mit, ob unter Berücksichtigung verschiedenster Kriterien ein Öffnen der Fenster die Raumklimasituation verbessern kann. Insgesamt sind acht Kriterien zu erfüllen, bevor die Fenster im Turm geöffnet werden. So wird die Kirche mit einer elektrischen Fußbodenheizung, die vorzugsweise nachts in Betrieb genommen wird, beheizt. Um die teure Wärmeenergie nicht unnötigerweise nach Außen durch das Öffnen der Fenster abzuführen, werden nur bei Bedarf die Fenster kurzzeitig, so lange wie nötig, geöffnet. Ferner müssen hohe Raumluftfeuchten und günstigere Außenluftbedingungen vorherrschen, um überhaupt eine Verbesserung des Raumklimas bewirken zu können. Jederzeit können neue Vorgaben im Programm eingebunden werden, um die raumklimatischen Verhältnisse unter Berücksichtigung aller Besonderheiten verbessern zu können.

Im Zuge der fortlaufenden Arbeiten zur Gewölbeputzsanierung wurde die Mess- und Regeleinrichtung stetig weiter ausgebaut. Mittlerweile umfasst die Messeinrichtung die raumklimatische Erfassung des nördlichen Querhauses, des Vierungsturmes sowie des Langhauses in Joch 2 und Joch 5.

Der Betrieb der Fenster läuft seit vielen Jahren weitestgehend störungsfrei und stellt sicher, dass vor allem in den Wintermonaten die Raumluftfeuchte im Bereich der Vierung in einer für

die Bausubstanz unkritischen Größenordnung liegt. Allerdings greift die Einflussnahme auf das Raumklima lediglich im Bereich der Vierung. Eine Entlastung der Raumklimaverhältnisse im Langhaus kann mit den Fenstern der Vierung alleine kaum gelöst werden.

Insbesondere während der heißen Schönwetterperioden in den Sommermonaten erwärmt sich der Dom allmählich. Wie eine Batterie nimmt er die von außen zugeführte Energie langsam auf. Wird das Raumklima zunächst als sehr angenehm im Dom empfunden, nimmt mit stetig ansteigender Außentemperatur und Dauer der Schönwetterperiode, die Raumtemperatur im Dom stetig zu und kann nach einigen Tagen Werte über 30°C erreichen. In Verbindung mit den schwülwarmen Luftmassen der Rheinebene nimmt die Raumluft zeitweise ein sehr unbehagliches Klima an, das mit einer geschickten Belüftung der Kirche erheblich verbessert werden könnte. So werden derzeit in den Sommermonaten die Fenster der Galerie soweit als möglich geöffnet, um eine Querbelüftung im Langhaus sicherzustellen, die eine leichte Verbesserung bewirkt.

Da die Querlüftung während der heißen und schwülen Sommertage im Laufe des Tages aber auch zu einer Tauwasserbildung auf den im Vergleich zur Außentemperatur kälteren raumseitigen Wandoberfläche führen kann und zudem am Tage warme Luftmassen in die Kirche eintreten, die eine stete Zunahme der Raumtemperatur bedingen, soll das bereits vorhandene Rechnersystem zukünftig auch genutzt werden, die Fenster des Langhauses durch einen optimierten Betrieb zur nachhaltigen Verbesserung der Raumluftverhältnisse einzusetzen. So blieben die Fenster an heißen Tagen weitestgehend verschlossen, um die feuchtheißen Außenluftmassen nicht in den Raum eintreten zu lassen. Erst in den Nachtstunden würde der Rechner die Fenster zur Querlüftung der Kirche öffnen, um das im Tagesverlauf thermisch aufgeladene Mauerwerk wieder energetisch zu entladen. Der Kirchenraum ließe sich so in einem behaglichen Temperaturbereich halten und Tauwasserbildungen auf den Gewölbeputzen würden vermieden.

In Kürze sollen zwei gegenüberliegende Galeriefenster mit entsprechenden Fenstermotoren ausgerüstet werden, um die Wirkungsweise der Querlüftung eingehender analysieren zu können. Eine Umsetzung des kontrollierten und den baulichen Besonderheiten angepassten Belüftungssystems wird mit der Verfügbarkeit der hierfür notwendigen Mittel für die Baumaßnahmen beginnen.

In der Winterperiode kommt dem Heizbetrieb eine besondere Bedeutung zu. So ist die Kirche 1970 über weite Bereiche des Bodens mit einer elektrischen Fußbodenheizung ausgestattet worden. Die Heizung wird auf einem vergleichsweise geringen Temperaturniveau von 12 bis 16°C abhängig von den kirchlichen Veranstaltungen betrieben.

Die Ergebnisse der Klimamessungen zeigten aber auf, dass die Raumluft in der Domkirche in den verschiedenen Raumbereichen sehr unterschiedliche Temperaturen und Raumluftfeuchten annimmt. Außerdem klagen sehr viele Kirchenbesucher, dass ein Aufenthalt in der Kirche gerade während sehr kalter Wintertage äußerst unangenehm sei. Eine der wesentlichen Ursachen hierfür ist sicherlich eine bereits in Abschnitt 2 angeführte intensive Betriebsweise der Heizung z.B. während der Weihnachtsfeiertage. Dann können die warmen Luftmassen aufsteigen. Streichen diese an kalten Tagen an den kalten Wandoberflächen vorbei, kühlen sie sich ab und fallen wieder in den Raum zurück.

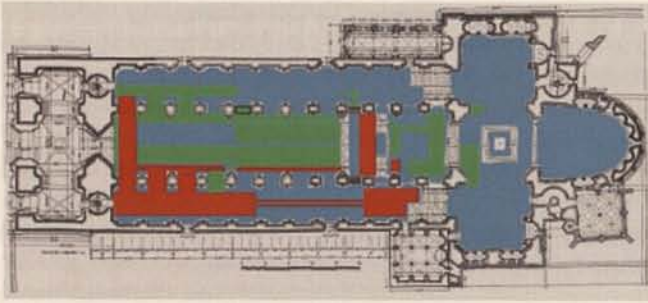


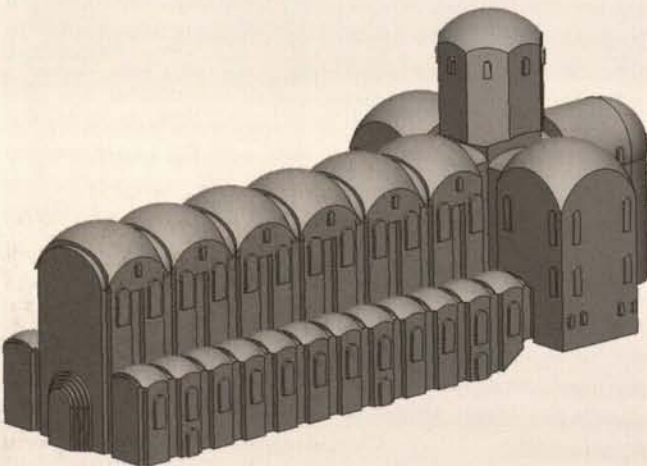
Abb. 9. Speyer, Dom, Oberflächentemperaturen des Fußbodens, gemessen mittels IR-Thermographiesystem: voll leistungsfähige Heizung (rot), geringere Wärmeabgabeleistung (grün), Ausfall der Fußbodenheizung in weiten Bereichen.

Durch die mit dem intensiven Heizbetrieb einhergehende starke Luftströmung ist aber sicherlich auch die Gefahr einer erneuten Verschmutzung der Gewölbeputzoberflächen gegeben, die im Hinblick auf die erst vor wenigen Jahren abgeschlossene Restaurierung möglichst vermieden werden sollte.

Entsprechend der ungleichförmigen gemessenen Raumluftverhältnisse in der Domkirche wurde Anfang 2002 mit Hilfe der IR-Thermografie die Funktionsfähigkeit der Fußbodenheizung im Dom analysiert.

Einen Eindruck einer einzelnen IR-Wärmebildaufnahme vom Fußboden zeigt Abbildung 11. Insgesamt wurden 154 IR-Wärmebilder vom Boden des Kaiser- und Mariendomes aufgenommen, um die Funktionsfähigkeit des gesamten Heizsystems bewerten zu können.

Die im Vollastbetrieb der Fußbodenheizung durchgeführten Wärmebildaufnahmen ergaben, dass in weiten Bereichen der Kirche die Fußbodenheizung nicht mehr funktionstüchtig ist (Abb. 9). Ein Vergleich mit Ergebnissen zur Raumklimasituation in der Kirche aus dem Jahr 1991 zeigte darüber hinaus, dass innerhalb der vergangenen zehn Jahre die Heizbereiche im nördlichen Querhaus ihre Funktionsfähigkeit verloren haben müssen. Auch ist im mittleren Bereich des südlichen Seitenschiffes die Heizung ausgefallen, die aber bereits 1991 nicht mehr zu funktionieren schien. Erstaunlicherweise sind im westlichen Bereich der Kirche die Heizkreise der Fußbodenheizung noch größtenteils intakt.



Mit Hilfe der Wärmebildmessungen konnten die enormen Luftströmungen im Kaiserdom erklärt werden. So ist davon auszugehen, dass sich die Raumluftmassen während des Heizbetriebs in den westlichen Kirchenbereichen erwärmen und entsprechend der Dichteunterschiede von warmer und kalter Luft nach oben bewegen. Entsprechend der großen Temperaturdifferenz der westlichen und östlichen Kirchenabschnitte, kommt es aber auch zu enormen Luftbewegungen, die sich in Richtung der östlichen Kirche einstellen. Die zu beobachtenden hohen Luftgeschwindigkeiten sind die wesentlichen Ursachen, die zum Unwohlbefinden der Kirchenbesucher beitragen. Zudem können die starken Luftbewegungen, die auch Staubpartikel mitführen, zur raschen Verschmutzung der Raumschalen beitragen.

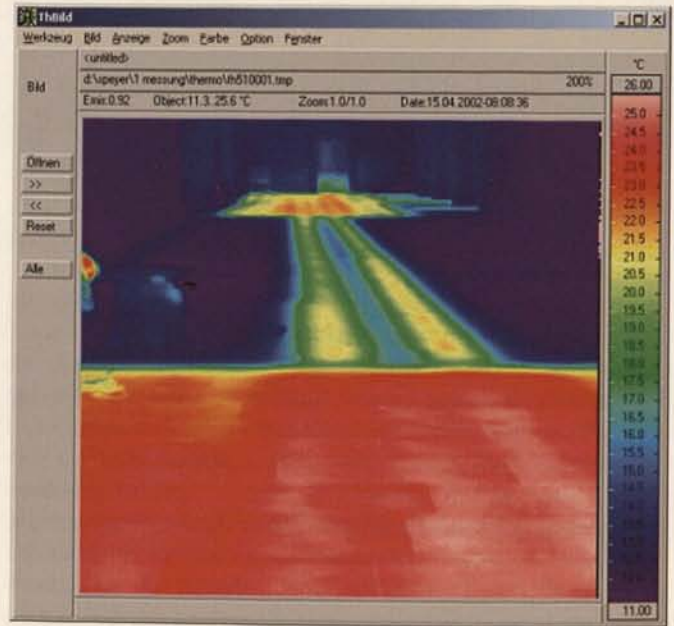


Abb. 11. Speyer, Dom: Beispiel einer IR-Wärmebildaufnahme im südlichen Seitenschiff.

Der Raumluftströmung kommt somit eine zentrale Bedeutung zu, wenn es um Fragen der Konservierung der mit der Restaurierung der Gewölbeputze erzielten Oberfläche geht. Die Raumluftströmung hängt aber ihrerseits in besonderem Maße von der Funktionsfähigkeit und der Betriebsweise des Heiz- bzw. des Temperiersystems ab. Entsprechend haben derzeitige Untersuchungen zum Gegenstand, die Raumluftverhältnisse unter Berücksichtigung des derzeitigen, nicht mehr voll funktionsfähigen Heizsystems zu analysieren. Als Simulationsprogramm wird das CFD-Programmpaket der CD-Adapco Group CD-Star verwendet, mit dem sich Raumluftströmungsvorgänge abbilden lassen.

⁷ Christian BODMER, Simulation der Raumluftströmung im Kaiserdom zu Speyer, Diplomarbeit an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.

Abb. 10. Speyer, Dom: CAD-Aufbereitung der Raumschalenumschließungsflächen für die Volumennetzgenerierung.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde zunächst das innere Raumvolumen des Domes mit einem Volumenelementnetz aus mehr als 1,2 Mio. Elementen abgebildet.⁷ Seit Anfang 2004 werden hieran Parameterstudien vorgenommen, um das derzeitige Raumluftverhalten des Doms unter Berücksichtigung der gemessenen Klimarandbedingungen nachzuzeichnen. Mit Abschluss der Validierung der Eingabeparameter sollen die Auswirkungen verschiedener Heiz- und Temperiersystem rechnerisch analysiert und einander gegenüber gestellt werden, um das im Hinblick auf den Erhalt der Bausubstanz wie auch hinsichtlich des Behaglichkeitsempfindens der Kirchenbesucher am besten geeignete Konzept herauszuarbeiten.

Einen Eindruck zum Stand der Arbeiten vermittelt die CAD-Aufbereitung der Raumumschließungsfläche der Domkirche in Abbildung 10, die im weiteren Bearbeitungsschritt in finite Volumenelemente zu diskretisieren ist.

Ein beispielhaftes Ergebnis der Raumluftströmungsberechnung vermittelt Abbildung 12, die die Temperaturverteilung in der Kirche für einen etwas kälteren Wintertag aufzeigt. Die Ergebnisse der unter Ansatz des gemessenen Außenklimas berechneten Temperaturverteilung stimmen in hervorragender Weise mit den innerhalb der Kirche in den verschiedenen Raumbereichen gemessenen Temperaturen überein. Folglich kann die Wärmeabgabe der Fußbodenheizung mit dem gewählten Modellansatz der CFD-Studie sehr gut abgebildet werden.

Neben der Ermittlung der Temperaturverteilung im Raum erlaubt die CFD-Simulation auch die Betrachtung der Raumluftströmungsverhältnisse, wie sie in Abbildung 13 für einen Schnitt durch das Haupt- und die beiden Seitenschiffe gegeben ist. Für jeden Knotenpunkt des Raumnetzes werden die berechneten Raumluftgeschwindigkeiten durch einen Vektor grafisch visualisiert. Die Größenordnung der Geschwindigkeit wird durch den Farbwert des Pfeiles angeführt. Die Richtung der Luftströmung wird durch die Orientierung der Pfeile aufgezeigt.

Noch 2005 sollen die möglichen Heizkonzepte einander gegenübergestellt und deren Auswirkungen auf das Raumklima wie deren Folgen für die Konservierung der Bausubstanz und die Behaglichkeit der Nutzung – auch hinsichtlich der jeweiligen Bau- und Betriebskosten – diskutiert werden, bevor dann die Entscheidung für ein geeignetes Konzept getroffen werden kann. Die gewählte Methodik erscheint durchaus geeignet, eine erneute Schädigung der erst vor wenigen Jahren restaurierten Gewölbeputze zu vermeiden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausarbeitung von Steuerungen für den Betrieb von Heiz- und Temperiersystemen wie auch die Regelung von natürlichen bzw. erzwungenen Be- und Entlüftungen in Abhängigkeit von Raumklimakennwerten und äußeren Witterungseinflüssen konnten am Beispiel zweier Welterbeobjekte unter den Aspekten

Abb. 13. Speyer, Dom: Raumluftströmungsverhältnisse im Hauptschiff und in den Seitenschiffen (Ist-Zustand).

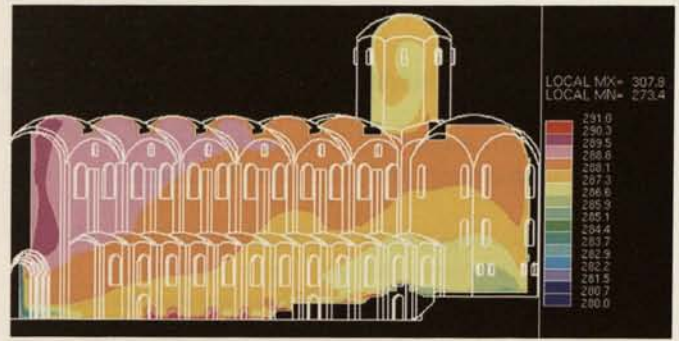
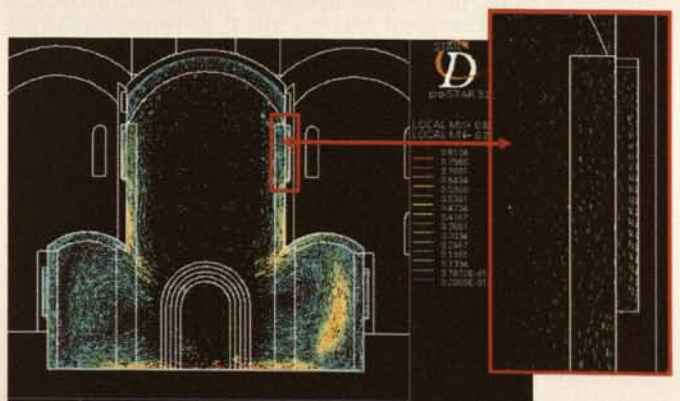


Abb. 12. Speyer, Dom: Visualisierung der Temperaturverteilung im Raum (Ist-Zustand).

eines optimierten und zuverlässigen Betriebs zur Vermeidung einer fortschreitenden Schädigung der historischen Substanz und seiner Ausstattung entwickelt und unter restauratorischer Begleitung erprobt werden.

Das in beiden Fällen zum Einsatz gekommene neue und innovative kabel- und funkbasierte Klimamesskonzept bietet vielfältige weitere Einsatzmöglichkeiten.

So werden auch an einigen anderen bereits realisierten bzw. noch laufenden Projekten verschiedenste Fragestellungen analysiert, die trotz der Unterschiedlichkeit in den restauratorischen, nutzungsspezifischen und wissenschaftlichen Details allesamt belegen, dass mit Klimamessungen und den zugehörigen materialkundlichen Untersuchungen ein wesentlicher Beitrag zur Substanzsicherung von historischer Bausubstanz geleistet werden kann. Nicht zuletzt zeigen diese praktischen Beispiele auch, dass sich die nicht selten folgenschwere Auswirkung einer Nutzung messtechnisch sicher bewerten lässt und im Bedarfsfall dann mittels einer kontrollierten Einflussnahme das Raumklima in denkmalgerechter und kostengünstiger Weise in einem günstigen Bereich gehalten werden kann. Auch lässt sich bei einer kontrollierten Betriebsweise von Beheizung bzw. Temperierung mit Hilfe der Mess- und Regeltechnik das Raumtemperaturniveau in historischen Räumen im Sinne der Substanzsicherung deutlich absenken und vergleichmäßigen, ohne dass das Behaglichkeitsempfinden der Nutzer eingeschränkt würde. Nicht zuletzt kann so auch der Energiebedarf für die Beheizung bzw. Temperierung der zumeist großen Räume erheblich reduziert werden.



Summary

Indoor Climate and Building Physics: Investigations and Plans.

Research Results Regarding Climatic Problems in the Maulbronn Monastery and the Speyer Cathedral

The goal of all conservation and repair work in the field of preservation is to ensure that only those measures are carried out which use the most minimal intervention possible to safely and permanently remove the cause of damage and which return the damaged area to a state that allows appropriate preservation, maintenance and use.

In the case of cultural monuments such as churches, monasteries, palaces and museums climatic conditions are often of particular importance for the preservation of historic building fabric and artistic fittings. In addition to considering basic questions concerning the effects of the indoor climate it is often also necessary to evaluate the appropriateness of the technical building services in historic monuments so that suitable improvements can be developed.

The use of historic buildings often necessitates their heating or temperature control. But a reliable plan for and assessment of technical building services requires sufficient understanding of the special characteristics of the indoor climate in such large volume interior spaces. Meaningful data characterizing inside air conditions is difficult to obtain and thus is rarely available. Regarding unheated buildings in particular there are only a few publications in the specialized literature which treat the issues of indoor climatic effects on historic building fabric. Thus it is also difficult to assess potential dangers such as those caused by lack of ventilation or by incorrect or uncontrolled ventilation.

On the basis of long-term studies of two buildings, the dormitory in the Maulbronn monastery complex and the imperial cathed-

ral of St. Mary's in Speyer, current technical possibilities for accurately recording indoor climatic conditions are discussed, as are techniques for accurate assessment of climatic strain on the building fabric, dangers to valuable artistic fittings, and the effects of a building's use. By building on this data it is possible to draw up monument-compatible measures which effectively counteract development of further damages.

Feedback control systems were developed and tested on both buildings in order to optimize the indoor air conditions with controlled air intake and extraction. Operation of the ventilators and the windows (which open and close electronically) is correlated with the indoor climatic conditions, the use of the buildings, etc. Restoration studies carried out at the same time prove that further development of damages to the original surface treatments can be effectively resisted with these simple measures which are in harmony with the historic building fabric.

The diversity of the restoration, use-specific and scientific problems makes it necessary not only to record and evaluate the indoor climatic conditions but also to take theoretical considerations into account regarding air movement in large-volume spaces. In view of the special problems of heating and temperature control in the Speyer cathedral, which has an interior volume of c. 50,000 m³, numerical calculations were carried out with the help of a high-performance simulation program; they are presented here along with the other studies.

Literaturverzeichnis

Hermann RECKNAGEL, Eberhard SPRENGER, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 69. Auflage, München 1995.

Claus ARENDT, Heizung – Problemfall historische Räume, Folge 4: Schadensbilder, Beispiele, Empfehlungen, in: Bausubstanz Nr. 3, 1992, S. 50–52.

Harald GARRECHT, Harald MÜLLER, Raumklimatische Beanspruchung von Raumschalen historischer Bauwerke – Maßnahmen am Beispiel des Speyerer Doms, in: 10. Bauklimatisches Symposium, Technische Universität Dresden, 27./29.9.1999, hg. von Peter HÄUPL und Jürgen ROLOFF, Dresden 2000, S. 833–845.

HARALD GARRECHT, Reduzierung der raumklimatischen Beanspruchung der Raumschalen im Dormentbau des Klosters Maulbronn, in: Jahrbuch 1997/1998 des SFB 315 – Universität Karlsruhe, Karlsruhe 2000, S. 223–235.

Harald GARRECHT, Jochen HUBER, Untersuchungen zum Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch energetisch sanierter Wohngebäude, in: 11. Bauklimatisches Symposium, TU Dresden, Dresden 2002, S. 54–63.

Harald GARRECHT, Klaus WOLFRUM, Ralf SCHMIDER, Online-Infrarotthermografie-Messsystem, in: Internat. Kolloquium Erhalten, Umnutzen, Ertüchtigen, WTA-Tage 2002, Freiburg, 2002.

Helmut KÜNZEL, Bauphysik-Geschichte(n) Nr. 14 – Lüften in Kirchen und Kellern, in: ARCONIS, 7, 2002, Nr. 1, S. 40–43.

Christian BODMER, Simulation der Raumluftrömung im Kaiserdom zu Speyer, Diplomarbeit an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Prof. Dr. Uta Hassler, Karlsruhe (Foto: Dirk Altenkirch, Karlsruhe); Abb. 2–3: Wilhelm Glaser, Horb; Abb. 4–7, 9–13: Prof. Dr. Harald Garrecht, Karlsruhe; Abb. 8: Renate J. Deckers-Matzko, Heidelberg.

From the Mogao Grottoes to the Margravial Opera House in Bayreuth.

Case Studies on the Impact of Visitors on the Moisture Balance of Historic Rooms

Potential impacts of large number of visitors on artefacts and monuments are often discussed as the most important issue when we try to determine the priority between the accessibility and preservation of historic spaces. However, it is not always easy to determine the scale of the impacts. We need to understand both chemical kinetics of materials and resulting damage processes as a consequence to the amplitude as well as frequency of climatic fluctuations. This paper attempts to present the state of knowledge and discuss this interrelationship for selected case studies.¹

The most significant impact of visitors to works of art in enclosed spaces is linked above all to the role of the human being as a moisture source. Depending on the level of his/her activity, a typical person releases 40–110 gram of water and 7–14 liter of CO₂ per hour to the environment while visiting museums and archeological sites. Further, visitors release not only physiological products such as skin and hair, but also textile fibres from their clothes, to the environment. These will deposit on works of art and historic interior surfaces, if they cannot be promptly vented to the outside or removed by filter devices of HVAC systems.

In spaces where the rate of ventilation is limited, the CO₂ exhalation by visitors becomes of considerable importance, as the safety and comfort of visitors will be compromised. However, the threat diminishes, if the infiltration of the outside air is significant. Therefore, it plays a major role when we deal with artefacts in caves or tombs.

For the moisture generation, the situation is somewhat different. Here walls and architectural surfaces, as a function of their porosity and moisture storage characteristics, decisively influence the humidity balance by adsorption and desorption processes. The buffering potential of modern concrete is for example by far lower than for lime based renderings or wooden surface elements in historic interiors.² Furthermore, the outside environment can not only act as a dissipater for high moisture levels, but also, depending on the meteorological conditions, it can act as an important source of moisture. Finally, capillary water movements through ground and walls often play a significant role for the moisture balance indoors.

As for understanding the impact by visitors, we need to record numbers of visitors, lengths of visits, their activity levels,

and outside weather conditions. It is also important to note whether a mechanical system, such as dehumidifiers or air-conditioning, has been installed in the visited space to isolate its microclimate from the outdoor conditions or other approaches have been taken to control infiltration of the outside air.

Damage processes, kinetics and dependance on cycle frequencies

Excess moisture is the major risk for the microbiological damages, e.g. through fungal and bacterial colonization. Mural paintings in the Marchini-rooms, Castle Weissenstein in Pommersfelden were widely covered by white efflorescences, which were identified as fungal mats and mechanically removed (Fig. 1). Organic materials such as paper, textiles or leather are especially susceptible to microbiological attacks.

An important precondition for mould growth is when the ambient temperature falls below the dew point temperature for at least three days.³ This implies that short term events in connection with persistent higher RH values (> 70%) can cause this kind of damage.

The humidification in winter forms a major condensation risk. 45 years ago wrote Benoist about museum heating, that European visitors are willing to accept a level of 15°C in museums in contrary to visitors in the US – who prefer 21°C.⁴ There is no doubt, that under the central European climatic conditions, a level of 15°C should be more sustainable from the conservation point of view, because it allows for much lower water input in order to stabilize the humidity conditions in winter. Nowadays, however the comfort requirements call for elevated temperatures in Europe as well.

The lower margin of tolerance is set by risk of increased brittleness, the breakage of single fibres and the formation of fissures and cracks. For wood and leather, this margin lays above 40% RH.⁵ This applies as well to protein based binding media in polychrome surfaces.

In general, porous material responds to changes in relative humidity with a volume change. The fact that painting canvases tend to shrink while being exposed to elevated humidity levels is due to the way the horizontal and vertical fibres are intertwined in the textile structure. The dilatational response of adobe to changes of relative humidity between 30 and 90% is shown in Figure 2. During the humidification phase the adobe expands progressively while during the drying/dehumidification phase the adobe shrinks. It is worth noting that shrinkage during the drying phase takes place faster than expansion the humidification.⁶

Clays with a high exchange capacity and inter-layer cations, such as montmorillonite swell in response to an increase in water vapor pressure or water content by hydration of the inter-layer cations.⁷

¹ The collaboration of Ann Bourges, David Carson, Eric Doehne and Tiziana Lombardo at the Getty Conservation Institute, of Matthias Staschull, Sebastian Falcon and Mattei Lazarescu is gratefully acknowledged. The authors also appreciate the support of the Dunhuang Academy, the Egyptian Supreme Council of Antiquities and the Bayerische Verwaltung der Staatlichen Schlösser, Gärten und Seen.

² LEGRUM, 1994.

³ STEINERT – DRAEGER – PAULMANN, 1981.

⁴ BENOIST, 1960.

⁵ THOMSON, 1986.

⁶ BOURGÈS – SIMON – MÜLLER, 2003.

⁷ SPARKS, 1986.



Fig. 1. Pommersfelden, Castle Weissenstein, the Marchini-rooms: Microbiological colonization of mural painting surfaces / Schloss Weissenstein, Marchini-Räume: Mikrobiologische Besiedelung von Wandmalereioberflächen.

Through the cycling experiment expansion and shrinkage amount to a similar magnitude in a reversible way (Fig. 3). Dilatation ranges from 150 to 3100 $\mu\text{m}/\text{m}$, depending on the type of clay. Montmorillonite bound adobe reached 20 times higher dilatation than kaolinite bound, which can be attributed to the different CEC (hydration of interlayer cations) and surface area (osmotic swelling) of montmorillonite and kaolinite.

The apparent reversibility of the process indicates that the stress does not exceed the elastic range of the material and hence does not produce significant damage. The time to reach the equilibrium expansion is depending on the composition of the adobe. Not in all cases the maximum expansion could be reached within a 24-hour cycle.

The situation changes drastically, when the presence of hygroscopic salts comes into play. Concerning a sodium chloride laden adobe, five processes are competing during changes of ambient relative humidity (Fig. 5): With RH values exceeding the point of deliquescence for NaCl at 75%, a preliminary dilatation, typical for non-contaminated materials, can be recorded, which is soon balanced and converted into shrinkage due to the subsequent dissolution of NaCl in pore spaces. Then the expansion due to the swelling of wet clay minerals becomes the decisive process and continues without reaching equilibrium until the end of the wet phase.

During the drying phase, the material first shrinks quickly due to the contraction of the clay minerals. This is then converted into expansion due to the recrystallization of NaCl in the pore network and the resulting pressure. Crystallization and dis-

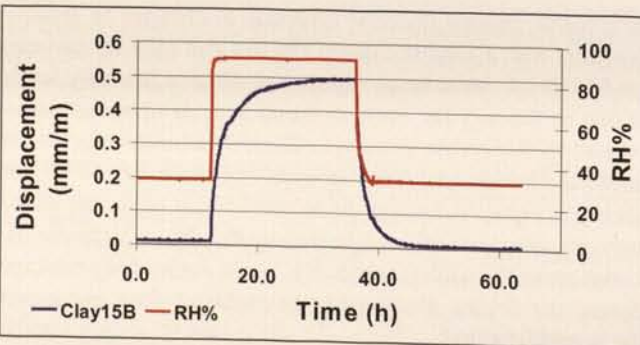


Fig. 2. Unidirectional displacement (hygroscopic dilatation) of adobe as a function of relative humidity and time / Eindimensionale Längenänderung (hygroscopische Dilatation) eines Lehmziegels als Funktion von relativer Feuchte und Zeit.

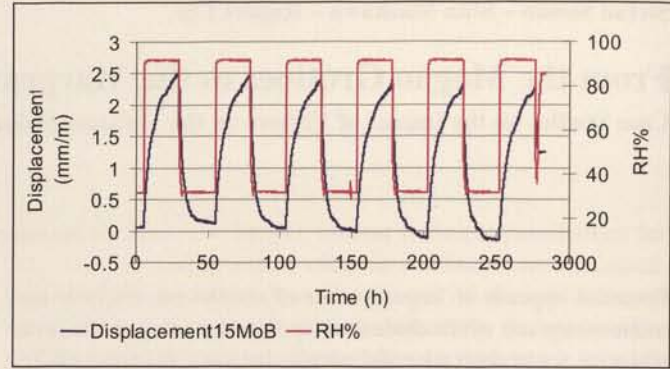


Fig. 3. Unidirectional displacement (hygroscopic dilatation) of montmorillonite rich adobe as a function of relative humidity and time / Eindimensionale Längenänderung eines Montmorillonit-reichen Lehmziegels als Funktion von relativer Feuchte und Zeit.

solution of salts is supposed to take place preferentially in the coarse pores⁸ and lead to a progressive decay of the material. Repetitive humidity cycles produced an irreversible and increasing structural expansion in sodium chloride contaminated brick.⁹

As observed for NaCl-laden sandstone¹⁰ the amplitudes of dilatation increase with the number of cycles underlining the role of NaCl as a damage factor for porous materials (Fig. 7).

Small RH ($\text{RH} \pm 2\%$) changes around the $\text{RH}_{\text{equilibrium}}$, independent of the rate, and the number of cycles, lead to reversible adsorption and desorption of water, and do not change the morphology of NaCl crystals. Rapid and large RH changes result in dramatic changes of crystal morphology and the formation of non-equilibrium crystals. A positive relationship between the extent of non-equilibrium crystal formation and the resulting damage potential is assumed.

The hygroscopic dilatation of wood is more important than the thermal dilatation. It is anisotropic, depending on the fibre direction, highest in tangential fibre direction, significantly lower in radial direction, and lowest with the fibre direction. Figure 4 shows that the moisture content under the $55 \pm 10\%$ RH regime varies between 6–14 mass-%. Knowing the dilatation coefficient (as for pine wood ca. 0.24%/percentage point of variation of wood moisture content, \perp to fibre direction, mean of radial and tangential value),¹¹ the expected hygroscopic dilatation of wood can be calculated as a function of variations in the ambient relative humidity.

Against common understanding, maintaining the relative humidity constant at 55% can not prevent dilatation phenomena of wood under temperature variations (Fig. 6). At 15°C and 55% RH a wooden object is equilibrated to a moisture content of 11%. With an increase in temperature e.g. to 20°C, the RH of the environment would have to increase to 60% RH in order to suppress dilatation phenomena caused by the subsequent variation in the moisture content of the wood.

Changes of 10% RH can cause a dilatation in wood of 0.5% (Fig. 6). For canvas under these conditions dilatations coefficients of 0.05–0.1% were determined.¹² The amount of resulting dilatation increases exponentially with higher variations of RH. The damage progress is expected to increase by the dis-

⁸ HONEYBORNE – HARRIS, 1958.

⁹ WENDLER, 2002.

¹⁰ LOMBARDO – DOEHNE – SIMON, 2004.

¹¹ WENDEHORST, 1975.

¹² CORNELIUS DU PONT, 1967.

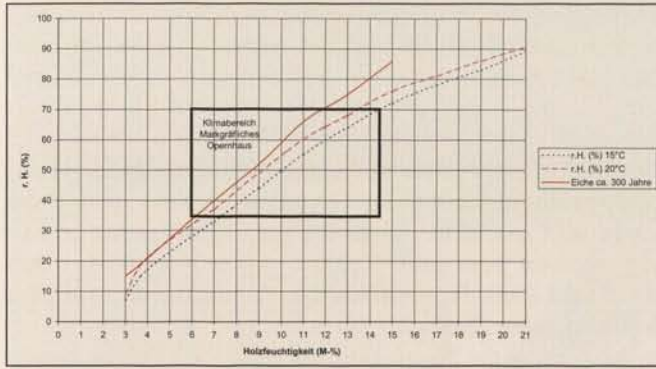


Fig. 4. Moisture equilibrium curves for wood as a function of relative humidity / Ausgleichsfeuchtekurven für Holz als Funktion der relativen Feuchte (nach Wendehorst, 1975 und Legrum, 1994).

cordancy due to the different dilatation behaviour where the material is covered by polychrome surface layers, especially through their binding media. Generally, it can be stated, that although the dilatation behaviour is clear, a correlation with resulting damage still has to be established and should be subject to further investigations.

The cycle frequency is a significant parameter for the assessment of the damage potential of climatic changes. Cycles shorter in duration (e.g. daily cycles) exceed longer cycles (e.g. monthly cycles) in their damage potential. This is due on the one hand to their higher number, on the other hand to the structure of the surrounding interior surfaces. The outermost architectural surfaces (e.g. paint layers, gilding etc.) follow in their sorption and dilatation behaviour changes of the ambient environment much faster than objects with higher volumes (e.g. masonry, sculptures). Seasonal changes of moisture and temperature are hence supposed to cause less stress, because they occur slower than the penetration of moisture or heat into the material and hence do not contribute on the same level to the building up of zones of discordancy between the interior and the exterior of the object.

Case Studies

The Tomb of Queen Nefertari, Valley of the Queens, Egypt

The Tomb of Queen Nefertari is located in the Valley of the Queens in western Thebes (the west bank of the present-day

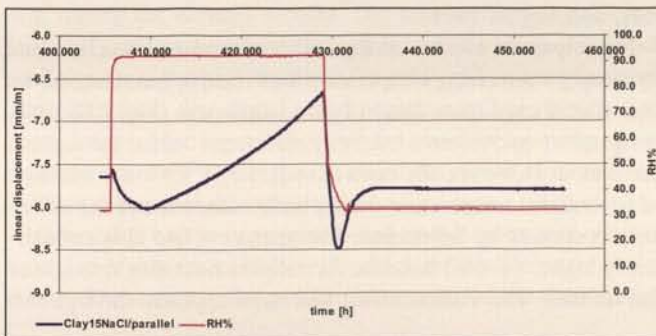


Fig. 5. Displacement of NaCl laden adobe (Clay15NaCl) during one cycle of relative humidity / Hygroskopische Dilatation eines mit Kochsalz befrachteten Lehmziegels während eines Feuchtezyklus (30–90% relative Feuchte).

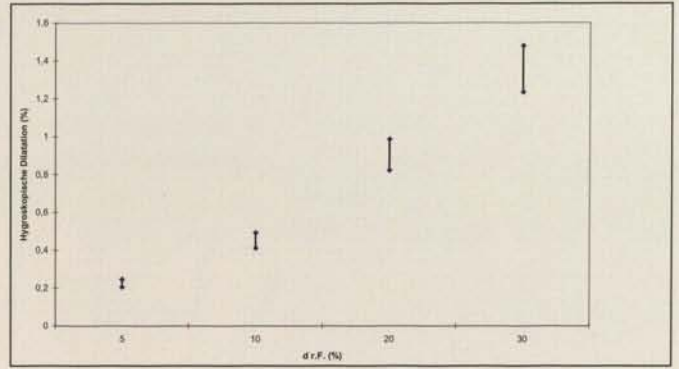


Fig. 6. Hygroscopic dilatation of wood as a function of relative humidity changes / Hygroskopische Dilatation von Holz als Funktion von Schwankungen der relativen Feuchte (nach Wendehorst, 1975).

city of Luxor), Egypt (Fig. 11–12). It is oriented north to south and carved approximately 13 m deep into the limestone bedrock. Figure 8 shows plan and section views of the tomb. A steel entrance door, left opened only during the visiting hours, is attached to a large steel bulkhead on the south wall of the upper chamber. A steep staircase, (A), approximately 4.5 m long, leads to the arched entry gate of the tomb at ground level. The tomb consists of two major chambers: the upper chamber, (C), and the burial chamber, (K). There is a 3.3 m drop between the floors of the two chambers, which are connected by a staircase (I) approximately 7 m long. The estimated total volume of the tomb is approximately 475 m³.

Figure 10 shows changes of the relative humidity and carbon dioxide in the tomb during an experiment conducted with 37 adult Egyptians in the burial chamber in August 1992. Both rates of the moisture and carbon dioxide generations coincided with typical rates that are published by the ASHRAE. The natural infiltration rate of the tomb was evaluated to be 8.9 m³/hr (0.019/hr) from the decay rate of the carbon dioxide. This low rate resulted from the combination of a high outside summer-time temperature (35°C), lower temperature (29°C), and the architectural configuration (the entrance is approximately 13 m above the floor) of the tomb. The warm, therefore, buoyant outside air has no chance of entering the cooler cave located 13 m below the ground. On the contrary, as seen in the same figure, the decay rate of relative humidity was much higher than that of the carbon dioxide. This indicated that a large portion of the moisture released by the visitors was absorbed by surfaces, such

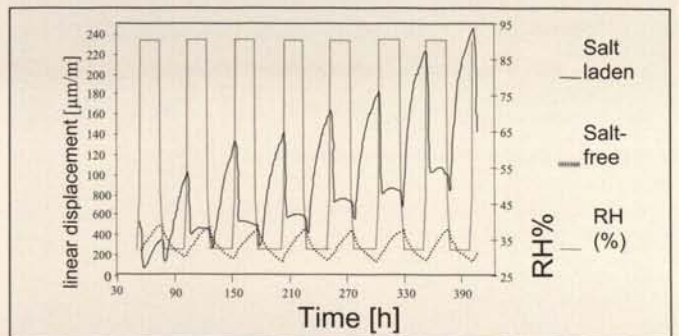


Fig. 7. Dilatation (µm/m) as a function of time and RH for salt-free and salt-laden Umm Ishrin sandstone / Hygroskopische Dilatation als Funktion von Zeit und relativer Feuchte bei salzfreiem und salzbelastetem Umm Ishrin-Sandstein.

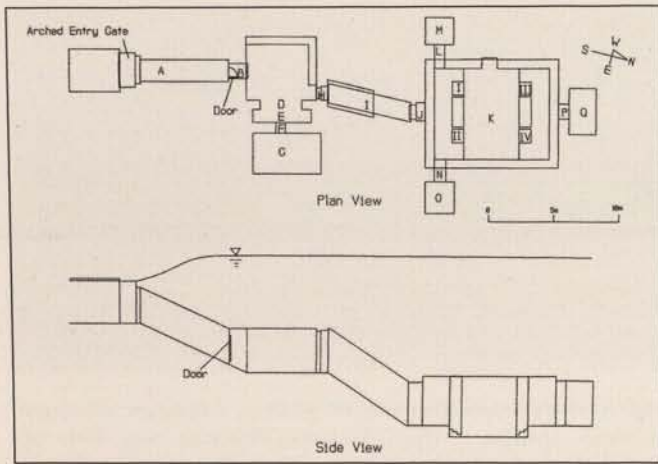


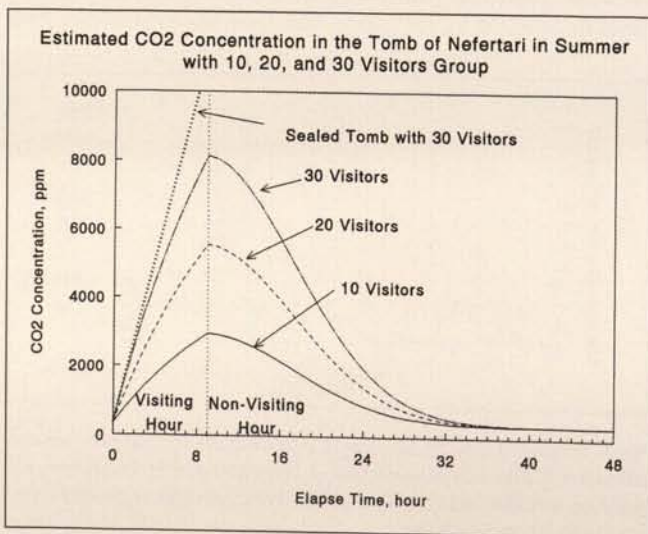
Fig. 8. Valley of the Queens, The Tomb of Queen Nefertari, Floor plan and cross section / Tal der Königinnen, Grab der Königin Nefertari, Grundriss und Längsschnitt.

as wall paintings, floor, and ceiling, of the tomb. It took more than 48 hours before the relative humidity returned to the pre-experiment level.

Based on natural infiltration rates evaluated from the experiments, we estimated a build-up of carbon dioxide in the tomb as well as its residual concentration after 8 hours of continuous visitation by groups of 10, 20, and 30 visitors as shown in Figure 9. Even with only 10 visitors in each group the concentration exceeded 2000 ppm, at which most visitors will feel uncomfortable, in the first 5 hours. And the concentration will not be reduced to the ambient (340 ppm) level by the following morning, indicating a daily build-up of the carbon dioxide.

The Mogao Grottoes, China

The Mogao Grottoes are located some 1,800 kilometers west of Beijing along the ancient Silk Road, at the eastern edge of the Taklimakan Desert and the south-western edge of the Gobi Desert, beside the oasis town of Dunhuang in north-western China. The site is a Buddhist sanctuary and consists of 492 decorated cave temples situated along 1.6 km of cliff face, dating between the fourth and the fourteenth century A.D. A typical architectural feature of the caves is shown in Figure 15. Figures



13 and 16 show wall paintings in one the caves. The caves were cut into a natural cliff face, approximately 50 meters high, running and consisting of a soft, poorly cemented, fine-grained conglomerate. A mud plaster mixed with sand and straw was laid directly on the conglomerate surface, and a white ground was applied prior to the paint layers. Modern threats to the preservation of these unique Buddhist artefacts include the intrusion of tens of thousands of tourists. The number of visitors increased from about 50,000 a year in 1980 to more than 200,000 in 1990. The trend has been continuing to more than 300,000 in early 2000's.

The caves of the Mogao Grottoes were, for centuries, mostly open to the outdoor environment, since their facades have long been decayed or removed as the site was abandoned for centuries. In the 1960's a concrete facade and walkways were built to facilitate access (Fig. 18). All decorated caves were fitted with alumina doors to shelter the caves from the outside climate. The doors are normally closed when the caves are not visited, and opened only during visitation.

The environments of two architecturally similar, medium-sized caves, one open to daily visitations and the other one closed to visitors at all times, were monitored for two years. During that period, several controlled experiments with visitors were conducted in the caves to determine the impact of visitors

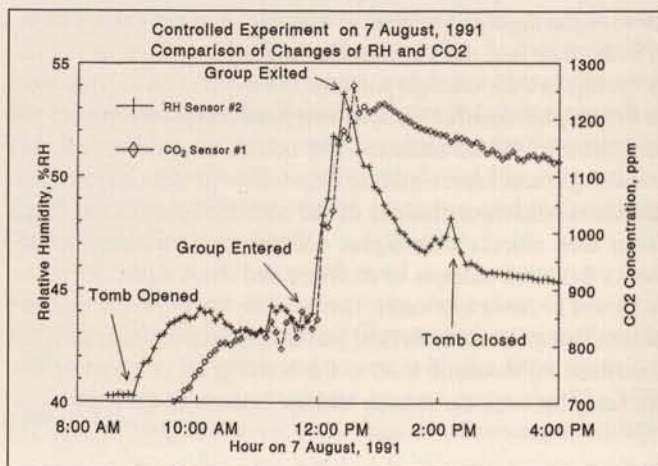


Fig. 10. Relative humidity and CO₂ concentration in the Tomb of Queen Nefertari, recorded before and after the visit of a tourist group / Vergleich von relativer Feuchte und CO₂-Konzentration im Grab der Königin Nefertari vor und nach dem Besuch einer Touristengruppe.

on the caves' microenvironments. Daily between 300 and 800 visitors visited the open cave during summer months, June, July, and August 1991.

The impact of visitors on the microenvironment was assessed by simply subtracting temperature and relative humidity of the non-visited cave from those of the visited cave (Fig. 17). Both, temperature and relative humidity difference varied throughout the period. However, the open cave had a (1°C) lower baseline of (overnight) temperature during early summer, and the difference decreased by September. The open cave had also a consistently higher (4–6%) baseline for relative humidity throughout the summer. The visitors effect was more apparent through two

Fig. 9. Calculation of CO₂ concentration for Nefertari tomb as a function of amount of visitors / Berechnung der CO₂-Konzentration für das Nefertari-Grab als Funktion der Besucherzahl.



Fig. 11. Valley of the Queens, The Tomb of Queen Nefertari / Tal der Königinnen, Grab der Königin Nefertari.

daily positive spikes (one in the morning and the other in the afternoon as caves were closed during the lunch hour) of 2 to 4°C during the summer months. The relative humidity also had two daily spikes, however, the spikes varied in both magnitude and sign (positive and negative). Positive spikes were found on hot, therefore, dry days, while negative spikes occurred on humid days. Monthly averages of the absolute humidity of the visited cave were higher than those of the closed cave and very similar to those of the outside air.

Controlled experiments conducted in the caves with visitors revealed highly variable, however, high infiltration rates, of 2 to 12/hr. These facts, along with the results of the monitoring,

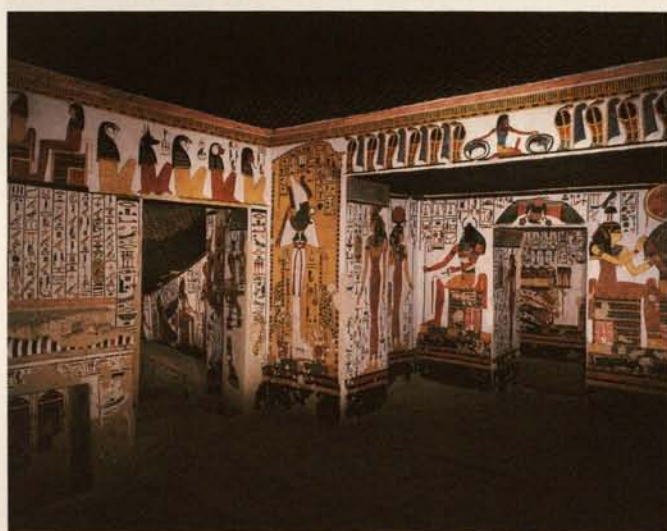


Fig. 12. Valley of the Queens, The Tomb of Queen Nefertari / Tal der Königinnen, Grab der Königin Nefertari.

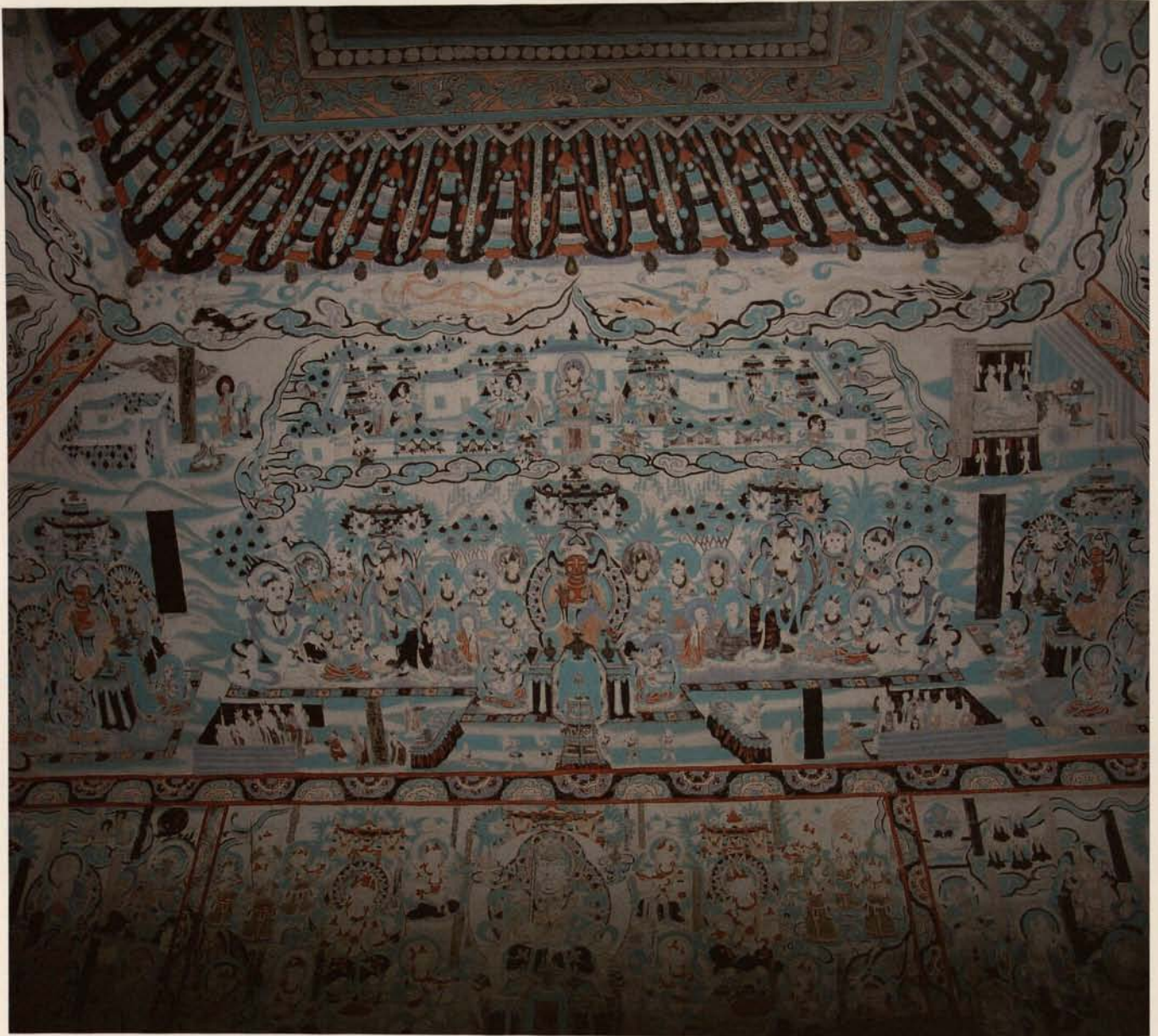


Fig. 13. Mogao Grottoes, Cave 25, Mural paintings on earthen plaster, detail / Mogao Grotten, Höhle 25, Wandmalerei auf Lehmputz, Ausschnitt.

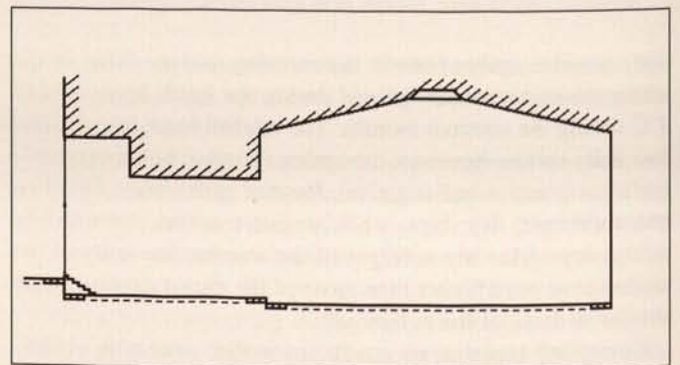


Fig. 15. Mogao Grottoes, cross section of a typical cave / Mogao Grotten, Längsschnitt einer typischen Höhle.

Fig. 14. Mogao Grottoes, the north view / Mogao Grotten, Fassaden, Nordansicht.



Fig. 16. Mogao Grottoes, Cave 25, Mural paintings on earthen plaster and polychrome sculptures / Mogao Grotten, Höhle 25, Wandmalerei auf Lehmputz und polychrome Plastik.

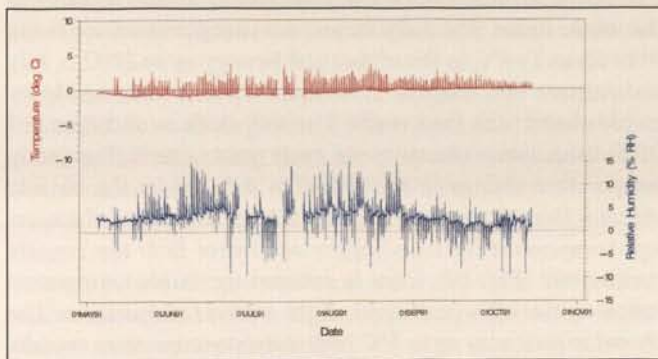
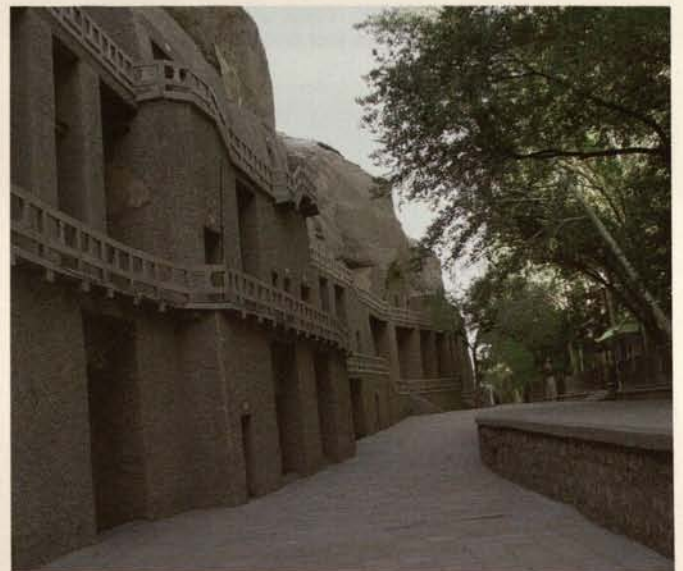


Fig. 17. Mogao Grottoes: Air temperature and relative humidity difference between Cave 323 (visited cave) and Cave 335 (closed cave) / Mogao Grotten: Vergleich von Lufttemperatur und relativer Feuchte zwischen Höhle 323 (Besucherverkehr) und Höhle 335 (geschlossen).

Fig. 18. Mogao Grottoes, Concrete façade and walkways, the north view / Mogao Grotten, Fassaden mit Laufstegen, Nordansicht.



indicated that the impact of visitors on the moisture balance is recorded as an increased infiltration rate of the outside air. Therefore, the combination of rate of visitation and the outside climate determines the humidity conditions in the caves of the Mogao Grottoes.

Saint-Michel d'Aiguilhe, Le Puy, France

The walls of the 10th/11th century chapel Saint-Michel d'Aguilhe (Le Puy en Velay, France) are mainly built of a basaltic tuff with black basalt or lava components (5–30% of the composition) in a greenish matrix of fine porphyroclasts. The matrix is highly porous (27–38%). The stone is capable to absorb large volumes of water in a short amount of time. The corresponding water uptake coefficient (W-value) ranges from 10–19 kg/m²/h.

Due to its location on top of a volcanic cone, the chapel is extremely exposed to the environment (Fig. 23). Everywhere on the outside walls, on exposed stones the deteriorating effects of the weathering, mainly flaking and scaling, but also surface recession, are obvious. The buildings masonry is hardly protected against wind, rain, sun and ice. There is no plaster, nearly no canopy and there is no roof rail. Therefore, particularly on the south-western side the driving rain, which is transported by wind, and additionally the run-off from the roof percolates regularly on the outside of the unprotected porous stone (Fig. 24).

On the inside the stone is covered by plaster with a thickness of ca. 2–3 cm. On the south-western wall, huge parts of the plaster seem to be detached. The inner plaster on the western

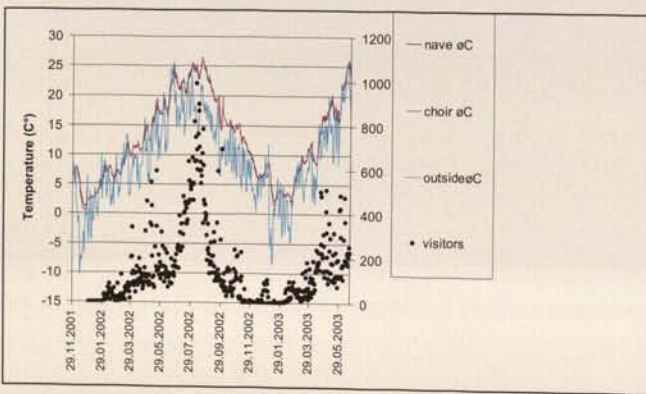


Fig. 19. Saint-Michel d'Aiguilhe: Temperature variation and visitors traffic / Temperaturschwankungen und Besucherverkehr (2001–2003).

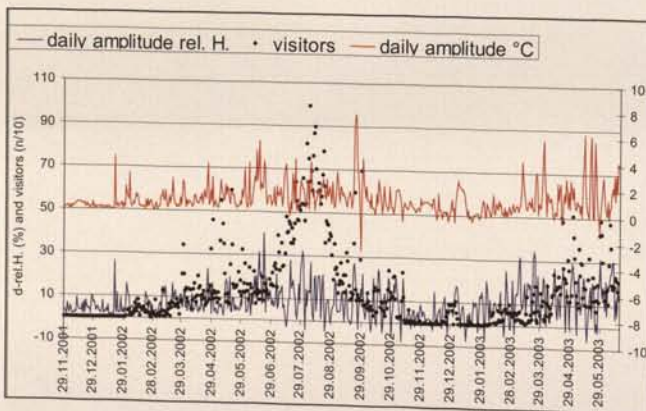


Fig. 20. Saint-Michel d'Aiguilhe: Daily variation of relative humidity and temperature / Tägliche Schwankungsbreiten von relativer Feuchte und Temperatur.

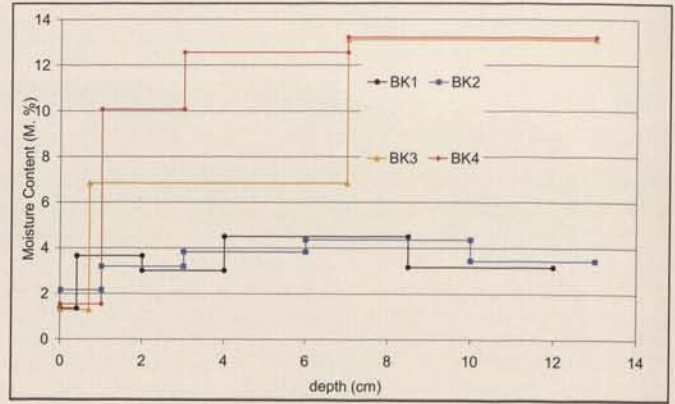


Fig. 21. Saint-Michel d'Aiguilhe: Moisture profile in walls / Feuchte-Tiefenprofil der Wände.

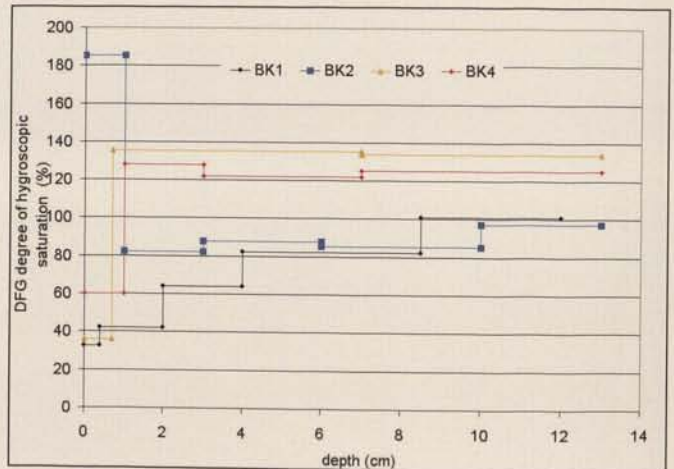


Fig. 22. Saint-Michel d'Aiguilhe: Moisture Degree (DFG) of hygroscopic saturation (%) as a function of depth in the walls / Hygroskopischer Durchfeuchtungsgrad (DFG) als Funktion der Mauertiefe.

and north-eastern side of the chapel seems to be in better condition. Anamnesis showed, that the interior 12th century mural paintings may have been consolidated by a wax treatment during the 19th century.

Figure 19 shows the relation between the interior and outer air temperatures. The deviation of the air temperature sensors in the room remains within a margin of +/- 0.5°C. Even in winter times, when the chapel is closed for visitors, the inner air convection is sufficient for a well-balanced climatic situation in the whole room. The daily mean room temperatures are rising from about 1–4°C in December and January up to 28°C in July and August. This range of 25°C twice a year is rather wide for an old chapel with thick walls. The wall surfaces undergo this 25°C temperature change twice every year as well. The yearly temperature change in the chapel is induced by the outside climate. But amazingly, in spring and early summer, the average temperature in the chapel rises faster than the outside temperature (Fig. 19). Even in summer the inside temperature keeps on the high peak level of the outside temperature. The chapel experiences up to 5°C higher temperatures than outside.

This effect may have two reasons: In spring, the chapel is heated by sun irradiation. The roof has a low inclination supported directly on the vaults, with almost no buffering air layer between roof and vaults. There is only a 2 cm layer of insulation material in the roof. The masonry of the vaults is rather thin. Therefore the heat of the roof is easily conducted into the room. Besides, the dark color of the masonry enhances the



Fig. 23. Saint-Michel d'Aiguilhe (Le Puy), Chapel Saint-Michel / Ansicht der Michaelskapelle.

absorption of sun irradiation (Fig. 24). Secondly, in case of high tourist activities (up to 1000 visitors a day in August 2002) the visitors could increase the room temperature by their body heat. The peaks of the inner temperature are corresponding with the long term peaks of the outside temperature. It is obvious, that the high amplitudes of the outside temperature are reduced in the inside – especially in winter, when the chapel is closed. But in summer under the influence of the tourist activities, the room has less protection against the outside climatic conditions. As a consequence in summer the amplitudes of the temperature outside are experiencing a faster transfer towards the interior. The daily variations of room temperature and humidity are shown in Figure 20. From the beginning of November until March (when doors remain closed and there are no tourists), the daily variation does not exceed 1 or 2°C. In summer, when the chapel is open to the public, the daily temperature changes in the inside range from 2°C to 6°C. A maximum of 8°C was recorded during a period of rapid cooling in the week of the 22nd of September associated with a high number of visitors (up to 700 visitors a day on September 29).

In winter the relative humidity in the chapel is around 70%. The air in the room is drier than the air outside. At that time also the mean of the absolute humidity in the chapel is lower than the absolute humidity outside. The lower absolute humidity inside points to the option that the “dry conditions” in the chapel are supported by water absorption of the walls during that period of high humidity outside and low tourist activities.

Because of the dramatic temperature increase inside the chapel during the summer months, the relative humidity inside is reduced to a level of 50 to 60%. The value of the relative humidity keeps under the level of the humidity outside, but the absolute humidity is corresponding to the values of the air outside. The low relative humidity inside at that time is caused by the higher temperature-level in the chapel. Due to the open doors and windows in the summer season, the range of the daily change in relative humidity in the chapel is more than twice as high as in winter times (Fig. 20).

The daily amplitude of the relative humidity in the nave (blue) corresponds to the tourist activities. The daily amplitudes are about 5 to 15% in winter and 15–40% in summer (Fig. 20).

During relatively warm days around the new years eve 2002/2003 the chapel was frequently visited (Fig. 20). The visits correlate with an increase of absolute humidity air in the cold church through increased air exchange with the outside environment. Both relative humidity and temperature increase slightly during these periods, due to increased air exchange with the outdoor environment. Because the temperature inside reacts slowly, there are several dangerous approaches to the dew point temperature. On days without visitors (second and ninth day in the diagram) the room climate is not affected by the outer climate. In the case of lower outside temperatures, opening of the chapel could lead to frost effects within the wall. As in the case of Mogao grottoes, the impact of visitors on the moisture balance is recorded as an increased infiltration rate of the outside air. Therefore, the combination of rate of visitation and the outside climate has a large influence on the climatic conditions in St. Michel d'Aiguilhe.

A special feature of St Michel d'Aiguilhe, which influences the climatic conditions is both the degree of exposure to the weather and the open character of a highly absorbent masonry. All of the four moisture profiles within the walls, recorded in July 2002, show increasing water contents from the interior surface towards the core of the masonry. The water contents of the south-west-wall (BK1 and BK2) rise up to 4 Mass-%, the cores of the north-east-wall (BK3 and Bk4) even up to 13 M-% (Fig. 21). These water contents are in a range of 100% to 150% of the hygroscopic capacity (Fig. 22). Therefore, they cannot be adsorbed from the air in the chapel, but are the result of capillary water soaked through the wall. The driving rain and run-off water from the roof percolating over the facade are the most reasonable source. The significant differences between



Fig. 24. Saint-Michel d'Aiguilhe, Joint system of the basaltic tuff masonry / Michaelskapelle, Fugensystem des basaltischen Tuffmauerwerks.

N- and S-exposure can be attributed to faster drying on the South side during summer period. The weather data for Le Puy give an average of 200 degrees for the prevailing wind direction, which corresponds to WSW.¹³

Margravian Opera House Bayreuth

Inaugurated in 1748 by Margravine Wilhelmine, the sister of Frederic the Great, the Margravian Opera House in Bayreuth belongs to the outstanding baroque theatres in Europe. Constructed by the Galli Bibiena in the typical Italian classicistic baroque style, its interior decorations survived the centuries and several restoration attempts largely unaffected (Fig. 27).

The continuous use of the Opera House for theatre plays, concerts and other events was subject to a major discussion since the mid nineties of last century, leading to a long-term and systematic assessment of the climatic conditions. A condition survey on the polychrome and gilded wooden elements (Fig. 25) and the decorative paintings (Fig. 26) revealed an increase of damage with height inside the theatre.¹⁴

In the following years from 1997 to 2001 the climatic conditions were recorded in order to assess the stress generated by and through the regularly scheduled events. The aim was to establish better climate conditions for the decorated surfaces, with emphasis on the typical implications during the winter season.

Fig. 25. Bayreuth, The Margravian Opera House, Interiors, detail: Fame / Markgräfliches Opernhaus, Innenausstattung, Detail: Fama.



Fig. 26. Bayreuth, The Margravian Opera House, Ceiling paintings on canvas borders fixed by ancient nails / Markgräfliches Opernhaus, Deckengemälde auf Leinwand mit Randbefestigung durch historische Nagelungen.

An HVAC system by Fa. Landis & Gyr was introduced in the eighties, but soon this set-up had to be replaced by a second system. It functions by retrieving air from outside, if necessary mixed with the ambient air inside the Opera House, filtered, warmed or cooled, and reintroduced into the public area of the Opera House after filtering it, from special elements located in the floor.

Two climatic regimes control the opera house. On the one hand the museum regime, under which the HVAC system is started only when the temperature falls below 7°C or the relative humidity exceeds a certain threshold value. Humidity and temperature control is effected through a heater with a supplied air of 55% ± 10%. This is in accordance with generally accepted museum standards.¹⁵ The tolerated margin of ±10% RH however is relatively high. During the museum regime the auditorium and the stage area are separated by a steel curtain, which decouples the climatic conditions in both zones.

The theatre regime previews 55% RH and constant temperature of 20°C. During the change from museum to theatre regime the temperature increase must not exceed 1 K/d. The relative humidity should be kept constant, while the maximum air supply is fixed to 20,000 m³/d.

The development in the amount of events in the Opera House is shown in Figure 28. Due to the 250th anniversary of the theatre a maximum amount of 72 events was reached in the season 1997/98. Especially in summer and autumn the density of events increased since 1996.

The heating for events during the cold winter season leads to the development of considerable temperature profiles with height as shown in Figure 30. This increase of surface temperatures is accompanied by a dangerous drop of RH below the safety margin of 45% correlating with the observed damage processes.

¹³ Meteororm V4.0.

¹⁴ SCHWENKENBECHER, 1995.

¹⁵ THOMSON, 1986.

▷ Fig. 27. Bayreuth, The Margravian Opera House, view on the prince's loge / Markgräfliches Opernhaus, Blick zur Fürstenloge.



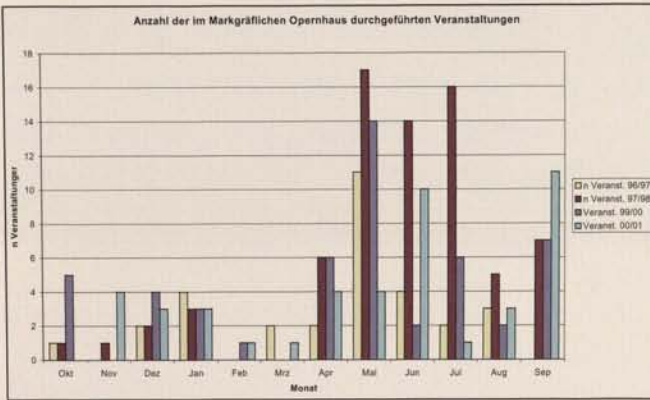


Fig. 28. Bayreuth, The Margravian Opera House: Number of events in the Opera House from 1996–2001 / Markgräfliches Opernhaus: Anzahl der Veranstaltungen zwischen 1996 und 2001.

As an example how single events can cause climatic stress to the interiors of the Opera House, relative and absolute humidity and temperature are shown for the days before and after the concert on the evening of January 23rd, 2000 in Figure 33.

The diagram shows the temperature (straight lines), the relative humidity (dotted thick lines) and the absolute humidity (straight thick lines) for various sensor positions (1: trumpet loge, 5: stage and 10 proscenium arch). In the time leading up to the event, the relative humidity is significantly too low around 40%. In a steep slope of heating the temperature in the theatre is increased within several hours for almost 10K to 20–23°C – in contradiction to the program which obliges to heating rates of max 1 K/day! Simultaneously the relative humidity drops to ca. 25%. It's not before the afternoon of the 24th that the extremely low and damaging humidity starts to normalize, combined with a fast drop of air temperature.

Until noon of the 23rd the absolute humidity in stage and auditorium is on the same level, with a higher temperature in the stage area. Just before noon temperature and absolute humidity drop in the stage area, probably due to an exchange with the outdoor environment (e.g. transport of instruments). At the same time the heating in the auditorium takes place accompanied by a considerable height profile. After the concert, the temperature decreases exponentially. On the morning of the 24th, the thermal context between stage and auditorium is re-established

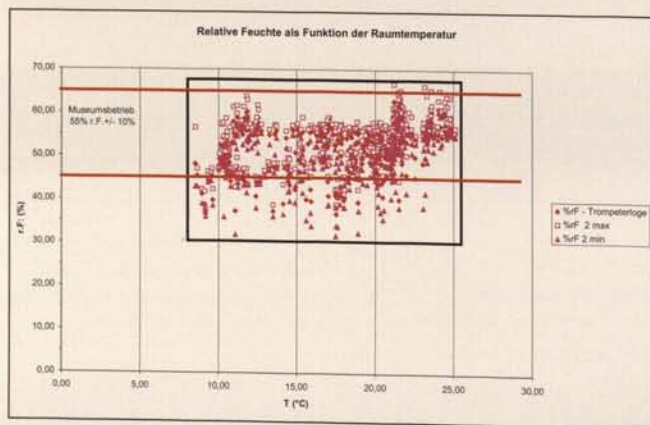


Fig. 29. Bayreuth, The Margravian Opera House: Range of relative humidity as a function of temperature in 1996/97 / Markgräfliches Opernhaus: Relative Feuchte als Funktion der Raumtemperatur während der Saison 1996/97.

lished by the opening of the steel curtain. Consequently, the theatre experiences a drastic cooling, while the stage zone is warmed up. The most obvious consequence is another drop of relative humidity, increasing with the height, by a drain of water vapour towards the dry stage area.

It is worth mentioning that the opening of the steel curtain not only allows for balancing the temperature, but also for a faster exchange of absolute humidity, which in this time of year is usually lower in the stage area. Therefore the drop of temperature in such critical phases may not be accompanied by an expected increase of relative humidity, but in the contrary, by a further detrimental drop.

A humidity release of approximately 40 g per person per hour can be assumed under most of the current usage conditions. During a concert of 2 hours duration and 550 visitors approx. 44 kg of water are introduced into the theatre. In the estimated volume of 6000 m³ the absolute humidity could hence increase

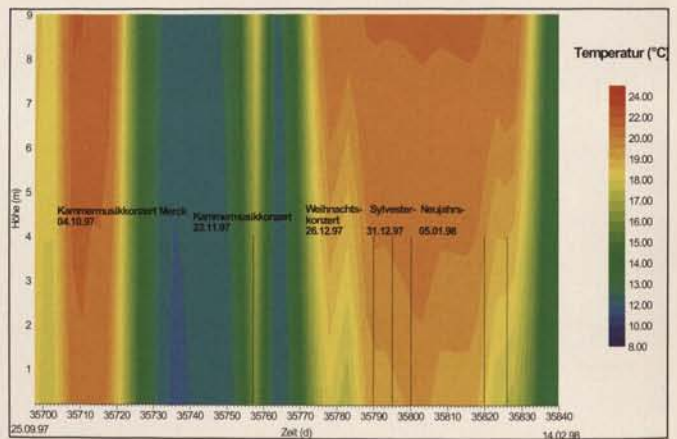


Fig. 30. Bayreuth, The Margravian Opera House: Temperature as a function of height, during winter 1997/98, shown as a function of time with indications for the events / Markgräfliches Opernhaus: Temperaturhöhenprofil während des Winters 1997/98 mit Hinweis auf einzelne Veranstaltungen.

for more than 7g/kg of dry air. However, this is not the case due to the high resorptivity of the surrounding walls and built in structures. The moisture input by the visitors of the concert is only visible in the form of spikes on top of a process which is controlled by other parameters, mainly the fast moisture

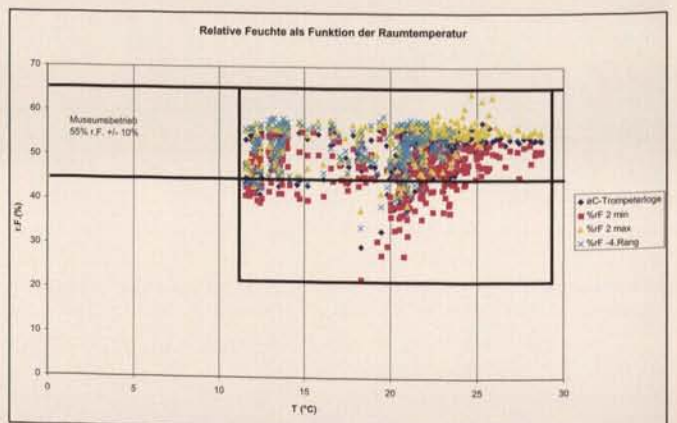


Fig. 31. Bayreuth, The Margravian Opera House: Range of relative humidity as a function of temperature in 1997/98 / Markgräfliches Opernhaus: Relative Feuchte als Funktion der Raumtemperatur während der Saison 1997/98.

exchange with the huge volume in the stage area, in dependency of the opening periods of the steel curtain.

Over the years, the stabilisation of the climatic conditions has been the aim of the project. The range of RH as a function of the air temperature in the Opera House is given for the years 1996–2001 in Figure 29 to Figure 34. The diagrams show that eventually in 2000/2001 (Fig. 34) the relative humidity could be stabilized within the desired corridor of $55 \pm 10\%$ RH. This was accompanied by significantly lower temperatures, which were reaching especially in the season 1997/98 high values of almost 30°C (Fig. 31).

The frequency of days on which the relative humidity fell below the minimal RH of 45% is given for all investigated seasons in Figure 35. During the last season (2000/2001), an important amelioration of the situation could be stated, after problems with the tuning of the HVAC system had led to a serious aggravation and a negative trend in the preceding years, where the RH fell short on 21%, 30%, and 27–58% (in 1999/2000 seasons, depending on the sensor location) of the respective period. The performance increase is attributed to subsequent maintenance of the HVAC system and a better tuning.

Significant daily humidity variations affect especially higher zones as the proscenium arch, more intensively during the winter season, for example in 2000 on more than 60% of the days in January (Fig. 37).

Over the years the climatic situation in the Opera House improved. Events of drastic drying or excessive change in relative humidity could be reduced. Most of the recorded RH values fall into the desired corridor of $55 \pm 10\%$. The proposed decrease in temperature during the theatre regime has shown favourable results. However, the increased humidity in the auditorium during the winter season increased also the condensation risks in surrounding building parts as the stair cases.

Conclusions

While assessing the potential for damage to artefacts or buildings, the frequency of relative humidity fluctuations has to be taken into account. Cycles, shorter in duration may still affect surfaces, where materials of different dilatations coefficients are combined and hence a significant amount of stress is generated at their interface. During relative humidity cycles, the drying of many

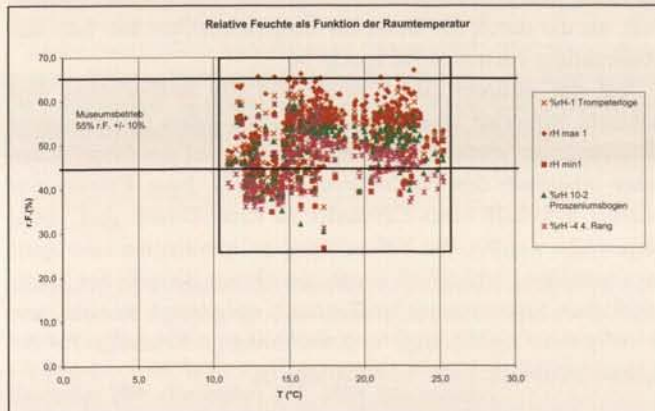


Fig. 32. Bayreuth, The Margravian Opera House: Range of relative humidity as a function of temperature in 1999/2000 / Markgräfliches Opernhaus: Relative Feuchte als Funktion der Raumtemperatur während der Saison 1999/2000.

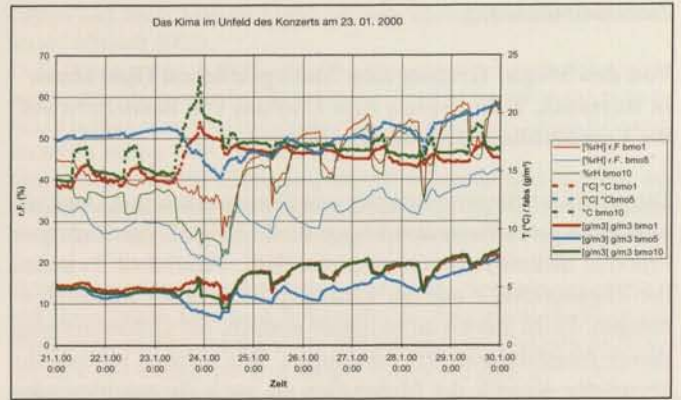


Fig. 33. Bayreuth, The Margravian Opera House: Climatic conditions before and after a concert on January, 23rd, 2000, (hourly recorded values) / Markgräfliches Opernhaus: Klimabedingungen im Umfeld eines Konzerts am 23. Januar 2000 (Stundenwerte).

materials takes place faster than the humidification process due to the mechanism of water transport in and out of the substrate. In the presence of hygroscopic salts in porous materials, quick relative humidity changes favour the non-equilibrium formation of salt crystals. This may have a greater damage potential than the equilibrium formation of salt crystals. Furthermore, the presence of hygroscopic salts in porous materials can counterbalance and even increase hygroscopic dilatation phenomena.

In spaces that are well isolated from the outside environment, impacts of visitors on their microenvironments are not only the accumulation of exhaled and perspired moisture that may be dangerous for objects but also an increased level of carbon dioxide that may compromise the visitors' safety and comfort. Opening of doors and windows, that are parts of a building envelope against the outside climate, may result in a larger infiltration of the outside humid air into the spaces than the moisture exhaled and perspired by visitors, when the outside climate is wet. The humidification of poorly insulated indoor space during dry and cold winter climate may cause a great risk of condensation on surfaces or inside of the building envelope. With these effects being difficult to control within a building, humidification should be minimized or avoided, where possible. Especially the case study of the Margravian Opera House has shown the importance of regular and independent control for the long-term stability of HVAC systems.

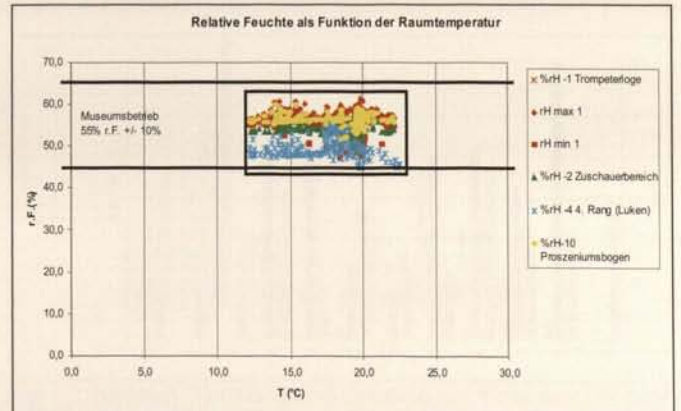


Fig. 34. Bayreuth, The Margravian Opera House: Range of relative humidity as a function of temperature in 2000/01 / Markgräfliches Opernhaus: Relative Feuchte als Funktion der Raumtemperatur während der Saison 2000/01.

Zusammenfassung

Von den Mogao Grotten zum Markgräflichen Opernhaus in Bayreuth. Fallbeispiele zum Einfluss von Besuchern auf die Feuchtebilanz historischer Räume

Die mögliche Beeinträchtigung von Kunstwerken und Denkmälern durch große Besuchermengen wird häufig als das wichtigste Problem diskutiert, wenn es darum geht, Prioritäten zwischen der Zugänglichkeit und der Erhaltung historischer Räume festzulegen. Es ist jedoch nicht immer einfach, die Größenordnung dieser Beeinflussung zu bestimmen. Wir müssen sowohl die chemische Kinetik der Materialien als auch die resultierenden Schadensprozesse in Ihrer Antwort auf Amplituden und Frequenz klimatischer Fluktuationen verstehen.

Die bedeutendste Auswirkung von Besuchern auf Kunstwerke in umgrenzten Räumen ist mit der Rolle des Menschen als Feuchtequelle verbunden. Abhängig von seinem Aktivitätsniveau setzt eine typische Person während des Besuchs in einem Museum oder einer archäologischen Stätte stündlich ca. 40–110 Gramm Wasser sowie 7–14 Liter CO₂ frei. Darüber hinaus bringen Besucher nicht nur weitere physiologische Produkte wie Hautpartikel oder Haare, sondern auch Textilfasern aus ihrer Kleidung in die Umwelt ein. Diese werden auf Kunstwerken und historischen Raumbooberflächen abgelagert, falls sie nicht unmittelbar nach außen entlüftet oder durch Filteranlagen in Klimatisierungssystemen entfernt werden.

In Räumen mit begrenztem Luftaustausch erlangt der CO₂-Ausstoß von Besuchern eine beträchtliche Bedeutung, da Sicherheit und Komfort der Besucher gefährdet sind. Diese Gefahr sinkt, wenn eine Infiltration von Außenluft besteht. Deshalb spielt das CO₂ eine wesentliche Rolle, wenn es um Artefakte in Höhlen oder Gräbern geht.

Was die Entstehung von Feuchte angeht, ist die Situation etwas anders. Hier beeinflussen Wände und Architekturoberflächen in Anhängigkeit von ihrer Porosität und Feuchtespeichercharakteristik entscheidend die Feuchtebilanz durch Adsorptions- und Desorptionsprozesse. Das Pufferpotential modernen Betons ist hier beispielsweise wesentlich geringer als das kalkgebundene Putze und Oberflächenelemente aus Holz in historischen Innenräumen. Daneben kann die äußere Umgebung nicht nur zur Abführung von hohen Feuchteniveaus beitragen, sondern auch selbst eine wichtige Feuchtequelle darstellen. Schließlich spielen kapillare Wassertransportprozesse durch Grund und Wände eine wesentliche Rolle für die Feuchtebalance im Innenraum.

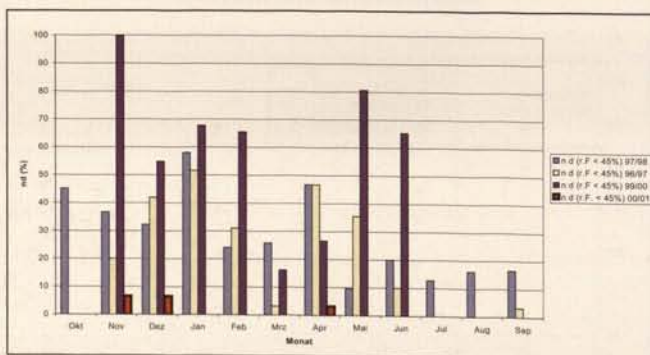


Fig. 35. Bayreuth, The Margravian Opera House: Percentage of days/a on which RH fell below the minimal RH (45%) for the seasons 1996 to 2001 / Markgräfliches Opernhaus: Prozentuale Anzahl von Tagen, an denen eine Unterschreitung der Mindestraumfeuchte von 45% registriert wurde (Saisonvergleich 1996–2001).

Um die Wirkung von Besuchern zu verstehen, müssen wir ihre Anzahl, die Dauer des Besuchs, ihr Aktivitätsniveau und die äußeren Wetterbedingungen aufzeichnen. Ebenso wichtig ist es festzustellen, ob ein mechanisches System wie Entfeuchter oder Air-Conditioner im gegebenen Raum installiert wurden, um dessen Mikroklima von der Umwelt abzukoppeln, oder ob weitere Anstrengungen unternommen wurden, die Infiltration der Außenluft zu kontrollieren.

Zu hohe Feuchte ist ein Hauptrisiko für mikrobiologische Schäden, z.B. durch Pilz- oder Bakterienwachstum. Es wird das mechanische Dilatationsverhalten von Erdmaterialien, Naturstein und Holz mit und ohne Salzbelastung als Funktion von Feuchteschwankungen beschrieben. Besondere Aufmerksamkeit verdienen kinetische Aspekte und die Abhängigkeit von der Zyklusfrequenz. An vier ausgewählten Beispielen, den Mogao-Grotten in China, dem Grabmal der Königin Nefertari in Luxor, Ägypten, der Kapelle Saint-Michel-d'Aiguilhe in Le Puy, Frankreich, sowie des Markgräflichen Opernhauses in Bayreuth wird versucht, den Einfluss der Besucher auf die klimatischen Bedingungen zu quantifizieren.

Für eine Einschätzung des Schadenspotentials von Feuchteschwankungen für Artefakte und Gebäude muss deren Frequenz berücksichtigt werden. Selbst kürzere Zyklen können Oberflächen belasten, in denen Materialien mit verschiedenen hygroscopischen Dilatationskoeffizienten kombiniert sind und an deren Kontaktfläche in der Folge eine bedeutende Belastung eintritt.

Während zyklischer Schwankungen der relativen Feuchte erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Wassertransportmechanismen im Substrat die Trocknung vieler Materialien schneller als die Befeuchtung. In Gegenwart hygroscopischer Salze ist deren Kristallisation bei schnellen Wechseln der relativen Feuchte über den Deliqueszenzpunkt hinweg in Nicht-Gleichgewichtsformen favorisiert, denen ein größeres Schadenspotential als den Gleichgewichtsformen zugeschrieben wird. Weiterhin können hygroscopische Salze im Feuchtewechsel die hygroscopischen Dilatationsphänomene in porösen Substraten ausgleichen oder mit umgekehrtem Vorzeichen sogar verstärken.

In von der Umwelt isolierten Räumen beschränkt sich die Beeinträchtigung des Mikroumfelds durch Besucher nicht nur auf die Anreicherung der von ihnen freigesetzten Feuchte, die die Objekte bedroht, sondern auch auf einen Anstieg an Kohlendioxid, der die Sicherheit und das Wohlbefinden der Besucher gefährden kann. Das Öffnen von Türen und Fenstern, die Teile des Gebäudemantels zur Abschirmung des Außenklimas sind, führt zu einer wesentlich stärkeren Infiltration von feuchter Außenluft, als die durch die Besucher freigesetzte Feuchte, falls das Außenklima entsprechend feucht ist.

Auf der anderen Seite verursacht die Befeuchtung von schlecht isolierten Innenräumen während kalter und trockener Wintermonate große Kondensationsrisiken auf den Oberflächen oder innerhalb des Gebäudemantels. Da diese Effekte nur schwer innerhalb eines Gebäudes zu kontrollieren sind, sollte angestrebt werden, die Befeuchtung zu minimieren oder ganz zu vermeiden. Schließlich konnte gerade am Beispiel des Markgräflichen Opernhauses in Bayreuth aufgezeigt werden, wie wichtig eine regelmäßige und unabhängige Kontrolle für die Langzeitstabilität einer Klimaanlage ist.

¹⁶ Die Langzeitstudie begann im März 1998 mit 22 Schadstellen, die analog im Mittelformat (6 x 6 cm Diapositiv) fotografisch dokumentiert wurden (A. Bunz).

¹⁷ Zwischenbericht 2002 (S. Dinkelacker).



Fig. 36. Bayreuth, The Margravia Opera House: upper loge house, tempera painting on pine wood support, detail: wide loss of paint layers due to significant climatic fluctuations (after retouching) and new damage (still without retouching) / Markgräfliches Opernhaus, "Sichtklappe" des oberen Logenhauses, Temperamalerei auf Nadelholz, Detail: umfangreiche Malschichtverluste infolge der erheblichen Klimaschwankungen (mit Retuschen) und neue Schadstellen (noch ohne Retusche; 2005).

Anhang

Matthias Staschull

Überprüfung der Schadensprogression im Markgräflichen Opernhaus Bayreuth durch „Mikromonitoring“

Die Ursachen für zahlreiche Kleinstschäden an den Skulpturen und wandfesten Malereien des barocken Zuschauerraumes konnten mit den erheblichen Schwankungen des Raumklimas in Verbindung gebracht werden. Das relativ häufige Aufheizen und Abkühlen der sensiblen Raumschale wurde dahingehend reduziert, dass während der kritischen Jahreszeit, also von November bis Mai, nur wenige Veranstaltungen in sogenannten Zeitblöcken durch die Bayerische Schlösserverwaltung genehmigt wurden. Zudem wurde die vorhandene Klimaanlage aus den 1970er-Jahren ersetzt.

Trotz der Verbesserung der Klimatechnik um 1998 gelang eine Reduzierung von Schäden an der Raumschale nur in begrenztem Umfang. Zur Überprüfung einer weiteren Schadensprogression wurde ab 1998 ein „Mikromonitoring“ an bestimmten Stellen der Skulpturen und Malereien installiert.¹⁶ Eine Erweiterung bzw. Veränderung einiger Stellen erfolgte bei den Aktionen im November 1999 und im März 2002. Diese weiteren Aufnahmen und Beobachtungen unter gleichen Bedingungen in den folgenden Jahren brachten in Kurzfassung folgendes Resultat. „Auch nach 40 Monaten lässt sich im Zuschauerraum des Opernhauses eine Progression der Schäden eindeutig feststellen, allerdings in weitaus gemäßigterem Tempo als 1998.“¹⁷

Letzte fotografische Aufnahmen im Oktober 2005 (Fig. 36) ergaben, dass der Prozess einer „schleichenden Reduzierung“ des Kunstwerkes nicht aufgehalten, vielleicht jedoch in seiner Menge verringert werden konnte. Eine Weiterführung der Untersuchungen ist geplant.

References

- Ann BOURGÈS, Stefan SIMON, Urs MÜLLER, The interaction of earthen materials with water in vapor and liquid phase and influences on their weathering behaviour, in: Proceedings of Terra 2003. 9th International Conference on the Study and Conservation of Earth Architecture, Yazd November 29th – December 2nd, 2003 (Ms. masch.).
 Luc BENOIST, Musées et Muséologie, Paris 1960.
 F. CORNELIUS DU PONT, Movement of wood and canvas for paintings in response to high and low RH cycles, in: SIC 12, 1967, pp. 76–80.
 Luisa HAGER, Lorenz SEELIG, Markgräfliches Opernhaus Bayreuth. Amtlicher Führer der Bayerischen Verwaltung der Staatlichen Schlösser,

Gärten und Seen, Munich 61982 (cf. new edition by Peter O. KRÜCKMANN, Munich 2003).

D. B. HONEYBORNE, P. B. HARRIS, The structure of porous building stone and its relation to weathering behaviour, in: The structure and properties of porous material. Proceedings Tenth Symposium Colston Research Society, London 1958, pp. 343–365.

Jürgen LEGRUM, Die Ermittlung der klimatischen Bedingungen am Standort von Kunstwerken – Ein wesentlicher Beitrag zu ihrer Erhaltung, in: Proceedings of the 4th International Conference on Non-destructive Testing of Works of Art, Berlin, 3.–8.10.1994, pp. 596–605.

Tiziana LOMBARDO, Eric DOEHNE, Stefan SIMON, The response of NaCl and Umm Ishrin Sandstone to humidity cycling: mechanisms of salt weathering, in: Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm, June 27th – July 2nd 2004, pp. 203–210.

Shin MAEKAWA, Frank PREUSSER, Environment Monitoring at the Tomb of Nefertari, Preprints of ICOM Committee for Conservation 10th Triennial Meeting, Washington, DC, 22–27 August 1993, pp. 616–623.

Shin MAEKAWA, Yongjun ZHANG, Baoyi WANG, Wenli FU, Ping XUE, Environmental Monitoring at the Mogao Grottoes, in: Neville AGNEW (Ed.), Proceeding of the International Conference on the Conservation of Grottoe Sites, October 1993, pp. 301–313.

Meteonorm V4.0 (Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Climatology), 2002.

Matthias SCHWENKENBECHER, Erfassung der Schäden an Fassung und Malerei im Markgräflichen Opernhaus, Bayreuth. Bericht an die Bayerische Verwaltung der Staatlichen Schlösser, Gärten und Seen, 08.05.1995 (Ms. masch.).

Donald L. SPARKS, Soil physical chemistry, 1986.

Gary THOMSON, The Museum Environment, Oxford 1986.

J. STEINERT, J. DRAEGER, K. PAULMANN, Eingrenzung der klimatischen Bedingungen für die Entstehung von Wandschimmel in Wohnräumen, in: Der Gesundheitsingenieur 102 (2), 1981, pp. 57–67.

Reinhard WENDEHORST, Baustoffkunde, Hannover 1975, p. 105.

Eberhard WENDLER, Laboratory measurements on salt-loaded bricks samples in periodically changing climate conditions, in: Thorborg von KONOW (Ed.), The study of salt deterioration mechanisms, decay of bricks walls influenced by interior climate changes, Suomenlinnan Hoitokunta 2002, pp. 81–87.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 23–26: Konservierung & Denkmalpflege Consulting, Olching (Dr. Stefan Simon); Abb. 11–18: Shin Maekawa, Los Angeles; Abb. 27: Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen, München (Foto: Klaus Frahm, Börsen); Abb. 36: Bayerische Verwaltung der staatlichen Schlösser, Gärten und Seen, München (Foto: Dr. Matthias Staschull); alle übrigen: S. Simon – S. Maekawa – R. Utz.

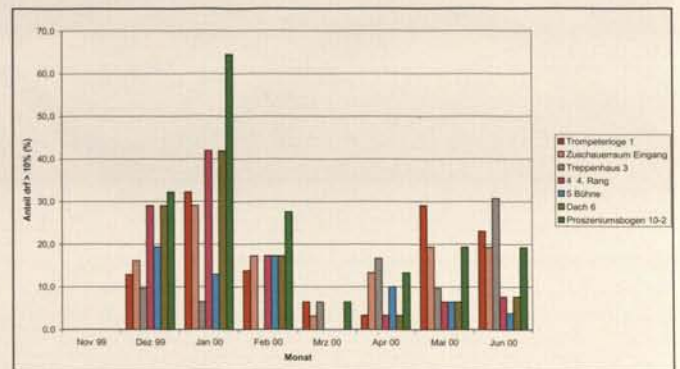


Fig. 37. Bayreuth, The Margravia Opera House: Frequency (% days/month) of humidity variations >10% for different sensor locations within the theatre during the season 1999/2000 / Markgräfliches Opernhaus: Prozentuale Häufigkeit (Tage/Monat) von Schwankungen der relativen Feuchte >10% an verschiedenen Sensorpositionen während der Saison 1999/2000.



Microbiology and Archaeology.

Microbial Impacts at Historical Sites during Excavation and Conservation

1. Introduction¹

The importance of microbial impacts in the alteration and deterioration of cultural artifacts made of mineral, metallic or organic materials has been widely acknowledged in the course of many recent investigations.² While in the past biodeterioration problems on cultural artifacts were often handled without a profound analysis and in consequence were simply controlled by biocidal treatments, a much deeper interdisciplinary understanding of the environmental factors and material properties regulating the biogenic damage factor would allow more specific, practical and adequate action.³

2. Fundamentals

2.1. Microorganisms and Materials

The microflora of inorganic and organic materials usually represents a complex ecosystem which develops according to prevailing climatic conditions, the input of inorganic and organic substrates as well as the physico-chemical characteristics of the respective material.⁴

In general, the following groups of microorganisms can be proven in variable quantities and dominance of species:

- Photolithoautotrophic microorganisms such as algae and cyanobacteria, which use sunlight as their energy source for growth and release oxygen during the photosynthetic process. Thus they are able to cover their carbon requirements by the fixation of atmospheric CO₂.
- Lichens form a unified vegetation body in a symbiotic association of a fungus (mycobiont) and an alga or cyanobacterium (phycobiont). The form-giving fungus utilises organic nutrients from the alga originating from photosynthesis; in return, the alga is supplied with minerals deriving from the biocorrosive activity of material-penetrating hyphae of the fungus due to the excretion of lichenic acids. In the complex aggregation the alga is furthermore protected from desiccation and other unfavourable influences.
- Chemolithoautotrophic bacteria, which use inorganic hydrogen-donators (NH₄⁺, NO₂⁻, H₂S, thiosulphate or ele-

mentary sulphur S⁰) gaining energy by their subsequent oxidation. This metabolic process leads to the release of nitrous acid (*Nitrosomonas spec.*), nitric acid (*Nitrobacter spec.*) or sulphuric acid (*Thiobacillus spec.*). Autotrophic microorganisms receive their required cell carbon even from CO₂-fixation. Some bacteria from this group can grow mixotrophically, meaning the assimilation of organic nutrients for the anabolic formation of cell substance (chemolithomixotroph). - Chemoorganotrophic bacteria and fungi, whose energy supply is based on the oxidation of organic substrates. In some cases these microorganisms are even capable of gaining energy through the oxidation of metal cations such as Fe²⁺ or Mn²⁺. Their cell carbon requirements are met in this case by autotrophic CO₂-fixation.

While the first three groups of microorganisms have frequently been described in the past in connection with the biodeterioration of historical sites, most recent investigations stress the previously underestimated spread and ecophysiological significance of chemoorganotrophic bacteria and fungi, especially coryneform actinomycetes and dermatiaceous fungi, on primary microbial colonisation and the resulting biodeterioration processes.

Due to their flexible nutritional requirements, as well as their capability of forming slimy biofilms which cover the material surfaces, the material-adapted microflora is in the position to successfully counter expositionally determined (i) temperature and humidity fluctuations, (ii) ionic-osmotic stress and (iii) nutrient limitations. The occurrence of phototrophic and chemoorganotrophic microorganisms on natural stone surfaces signifies a preparatory material-conditioning for the subsequent colonisation of chemolithotrophic microorganisms.

The above mentioned groups of microorganisms are specifically interdependent on each other during the colonisation on materials, characterised by the formation of coherent biofilms and the utilisation of the various available nutrients by a catabolic network. Thus single contaminants referring to one distinct physiological group of microorganisms are found only scarcely on exposed materials. With regard to their different physiological characteristics, the previously described group of microorganisms gives rise to different biogeochemical and biogeochemical damage processes which will be dealt with in the next section.

2.2. Biodeterioration Mechanisms

Whether as a single or a catalytic enhancing factor, because of their contamination, growth and metabolic activity microorganisms such as algae, cyanobacteria, lichens, bacteria and fungi influence the complex interaction between various types of materials and the surrounding physical as well as chemical damage functions (Fig. 8).⁵

¹ The work presented here was partly supported by grants from the German Ministry of Foreign Affairs (BMAA) as well as the German Ministry of Research and Education (BMBF).

² MAY et al., 1993; WARSCHIED – BRAAMS, 2000.

³ WARSCHIED, 1999.

⁴ WARSCHIED – KRUMBEIN, 1996.

⁵ KOESTLER et al., 1992.

Fig. 1. Lintong, Museum of the Terracotta Army, pit no. 2: Terracotta Warrior with consolidated polychromy (1999).



Fig. 2. Pommersfelden, Castle Weissenstein, detail: Microbial biofilm penetrating into the pore system of a natural stone (i.e. Burgsandstein) as visualized by red PAS-staining.

In the course of biofouling (e.g. presence of colloidal microbial biofilms on or inside the materials) the microflora leads not only to aesthetically impairing discoloration by biogenic pigments (e.g. green chlorophyll, brownish melanin, red carotinoids) but also to the alteration of physico-chemical characteristics of the materials with regard to their (i) mechanical properties, (ii) surface absorbency/ hydrophobicity, (iii) diffusivity and (iv) thermal-hygic behaviour.⁶

Subsequently, the microbial consortia may cause a biocorrosive attack (e.g. microbial induced or influenced corrosion on materials) leading to the alteration of the structure and stability of materials by (i) phototrophic enrichment of organic biomass, (ii) selective cellular enrichment and redox processes of cations and anions (e.g. iron, manganese), (iii) excretion of immediate corrosive metabolic products (e.g. organic and inorganic acids), and (iv) enzymatic mineralisation of respective organic materials.⁷

Moreover, germs, spores, dead cells and microbial toxins (e.g. endotoxins, mycotoxins) possess an allergenic or pathological capability that affects restorers and conservators as well as visitors and users of cultural artifacts, especially in libraries and archives.⁸

3. Environmental Conditions for Biodeterioration Processes

During the anamnesis of biodeterioration processes on cultural artifacts it is important to document the environmental conditions which are favourable for microbial infection, contamination and the biodeterioration process in particular, in order to consider and establish effective countermeasure strategies already at the beginning.

3.1. Biofilm – a stabilising microniche

It is important to stress the fact that a material specific microflora is preferably embedded in a colloidal slime layer, called biofilm (Fig. 2–3). The biofilm protects the microorganisms by balancing changes in humidity and temperature as well as osmotic- and pH-relevant influences due to the presence of colloidal polymeric substances. Based on its considerable ion-exchange capacity, it even resists the penetration of biocides, detergents or antibiotics impeding the control of the microbial contamination and biodeterioration processes in the long-term.

In addition, the arrangement of microbial consortia in a biofilm matrix leads to the stimulation of their metabolic activity by (i) the extension of the colonisation area, (ii) the deposition and enrichment of nutrients on the adhesive surface, (iii) the promotion of a microbial metabolic network (“cross-feeding”) and (iv) the support of the intracellular communication by the exchange of genetic information. Therefore, in contrast to medical microbiology, “pathogenic” impacts of microorganisms on materials refer only rarely to the activity of one species, but are more often caused by complex microbial consortia characterised by a high adaptability and flexibility during the biodeterioration process.⁹

3.2. Exogenic Parameters

The microbial contamination on and in materials is basically determined by the availability of water provided by rainwater, rising dampness and condensational moisture, depending on the sorption isotherms of the respective material. Fungal growth will be enabled within a water activity (e.g. ratio of the vapour pressure of the air in equilibrium with a substance or solution divided by the vapour pressure at the same temperature of pure water) of $a_w > 0.6$ and a time of wetness TOW > 0.5 (e.g. more than 12 h during a day); optimal conditions for their growth will be given within an $a_w 0.75$.¹⁰ Other microorganisms such as algae or bacteria probably need a higher moisture supply ($a_w > 0.9$), but in the widespread presence of moisture-conserving biofilms these microorganisms may survive in infected materials even under more unfavourable moisture conditions.¹¹

In the long-term, the material structure (e.g. surface roughness, absorbency / hydrophobicity, porosity and inner surface) determines the adhesion, colonisation and spreading of the microorganisms on and within the material.¹² Its chemical composition may additionally support the microbial succession by providing internal inorganic and organic nutrients. Further decomposable nutrient sources may be offered by the exposition to light, leading to the enrichment of photosynthetic biomass, as well as the deposition of natural and anthropogenic aerosols.¹³ In evaluating the nutritive conditions for a particular microbial consortia, it is important to consider that microorganisms settling on material surfaces are able to survive or even grow under oligotrophic conditions (i.e. low concentrations of nutrients).¹⁴ The contamination process will even be extended

⁶ WARSCHIED, 1996a.

⁷ WARSCHIED – KRUMBEIN, 1996.

⁸ GALLO, 1993; HÖDL, 1994a.

⁹ FLEMMING – SCHAULE, 1994; WARSCHIED, 1996a.

¹⁰ ADAN, 1994.

¹¹ FLEMMING – SCHAULE, 1994.

¹² WARSCHIED et al., 1993.

¹³ e.g. ammonia, nitrate or combustive or biogenic hydrocarbons: WARSCHIED et al., 1991; WARSCHIED et al., 1993; SAIZ-JIMENEZ, 1995; MITCHELL – JI-DONG., 1999.

¹⁴ MAY et al., 1993.

¹⁵ WARSCHIED – KUROCZKIN, 1997.

¹⁶ WARSCHIED et al., 1988.

¹⁷ WARSCHIED – KUROCZKIN, 1997.

¹⁸ WENDLER, 1997.

¹⁹ KOESTLER, 1999; TIANO et al., 1999.

²⁰ von PLEHWE-LEISEN et al. 1996; WARSCHIED – KUROCZKIN, 1997.

²¹ KUMAR – KUMAR, 1999.

when buffering capacities for biogenic metabolic compounds with acidic properties are in the respective material, since the optimum of pH for most of the microorganisms studied on cultural artifacts varies around the neutral point.

The optimal temperature for most of the microorganisms involved in the biodeterioration of cultural artifacts ranges between 16 and 35°C. The oxygen supply will not exclude microbial activity, but will determine the type of the respective metabolic pathways, whether oxidative or fermentative. Finally, the possible ways of contamination (e.g. air-borne, infected materials) have to be analysed and considered as a potential cause of microbial infections and biodeterioration processes on historical objects.

4. Protective Treatments in General

The control of biodeterioration processes on materials will basically be achieved by effective measures to limit and restrict the above-mentioned growth conditions for the respective microflora. Therefore, "good housekeeping" and climate control as well as the selection and application of appropriate, particularly microbial-resistant protectives should preferably be guaranteed before applying ecotoxicologically questionable and unhealthy biocides.¹⁵

4.1. "Good housekeeping" and Climate Control

The protection of cultural artifacts against biodeterioration will be primarily achieved by the reduction of moisture in and around the endangered object in the course of drying, drainage, ventilation or air-conditioned storage. Due to the moisture-conserving effects of microbial biofilms, already contaminated artifacts will probably be kept more safe at humidity levels less than 55 r.H. %, whereas non-contaminated objects will allow up to 65 r.H. %, depending on the respective type of material and its sorption isotherm.

The growth-controlling effect of desiccation will be intensified by a subsequent soft cleaning (e.g. vacuum cleaner, brushes) and, if necessary, careful disinfection (e.g. medical alcohol, possibly combined with conserving agents) of the material surface to remove moisture-absorbing dust, attached particles, crusts or biogenic slimes. In this context, it has to be emphasised that during cleaning the input of additional moisture should be limited as much as possible (e.g. by wrung-out cloths, fine-part dry cleaning); otherwise the cleaning effect will remain only temporarily until the remaining microflora has recovered in the moist condition.¹⁶

The long-term effect of these measures will be extended as long as the further contamination of the respective objects by aerosols, particles and microorganisms can be avoided. This will require the formulation and realisation of technical guidelines for "good housekeeping" (i.e. regular cleaning and repairing, equable heating and ventilation). Modifications in illumination, temperature conditions, pH-range or the redox potential of the affected materials and their environment will have only slight inhibiting effects against the mostly highly adaptable microflora, not to mention the problems involved in their practical realisation.

Nevertheless, this practical action will already provide sufficient relief in most cases of biodeterioration problems on cul-



Fig. 3. SEM-micrograph of the microbial biofilm showing rod-shaped bacteria embedded in a slimy extracellular matrix, addressed by the PAS-staining in Fig. 2.

tural artifacts, even when microbially sensitive materials are present, and the individual steps can be easily integrated into the general conservation work scheme.¹⁷

4.2. Selection of Protective Agents

The application of protective agents such as coatings, consolidants, water repellents, fillers, fixatives and organic binders should primarily be carried out with respect to the prevailing physico-chemical conditions of the object's material and its damage situation.¹⁸ If microbial contamination and biodeterioration processes are clearly proven, the selection of respective protective agents should consider their microbial resistance in order to avoid the initiation, reoccurrence or even acceleration of microbial impacts on the cultural objects in question.¹⁹

The microbial resistance of materials should preferably be tested with material-specific microbial consortia under laboratory conditions as well as *in situ* on the cultural object in question.²⁰

4.3. Biocidal Treatments

In the more serious cases of biodeterioration, where the possible improvement of given material-specific, expositional and environmental conditions are inevitably limited and can not be changed, further countermeasures will be required. In order to increase the durability of restoration and conservation treatments on cultural artifacts heavily affected by biodeterioration processes, the use of biocides as additives might be unavoidable here.²¹

Antimicrobial active substances can be commonly categorized as alcohols, aldehydes, organic acids, carbonacidesters, phenols and their derivatives, halogenated compounds, metals and metal organic substances, oxidative compounds, enzymes, surface-active compounds and various synthetic organic products.

Commercial biocide products used in classical conservation with rather rapid effects mainly include

1. quaternary ammonia compounds,
2. chlorine or halogenated compounds,
3. metal-organic compounds
4. aromatic compounds (e.g. phenols, formaldehyde, CMK) or
5. isothiazolinone-derivatives.

Alternative active substances, which are more easily handled in conservation practice because of their low toxicity, might include

- metallic salts (e.g. copper, zinc)²²,
- acetic or salicylic acid²³,
- borax ("polybor")²⁴,
- PHB-esters²⁵,
- ethereal oils (e.g. thyme-oil, rose-oil, neem-oil), or
- pyrethrum.

The application of these alternatives naturally requires more patience concerning the overall killing effect. Moreover, it takes for granted that the microbial infection on the treated object will be monitored and sufficient subsequent care will be exercised; in fact this ideally should be the case for every cultural artifact after restoration and conservation!

The formulation of synergistic working biocidal agents could probably result in an increase of their effectiveness whilst reducing the chemical load on the contaminated material as well as the toxicological risk for the restorers and conservators making the application. A major gap in our knowledge is obvious here and needs to be filled by further leading ecotoxicological research.

Since the impact of ionizing radiation or UV-irradiation will probably be limited to an antiseptic treatment of material surfaces, a complete sterilisation of highly infected cultural artifacts will be obtained by the application of ethylenoxide in computer controlled chambers.

It has to be emphasized that the theoretical effectiveness of antimicrobial substances might be strongly reduced in practice due to the physiological and ecological flexibility of the microbial consortia embedded in the colloidal biofilm on the respective materials in situ as mentioned above.²⁶ Especially the co-metabolic organisation of the respective microflora makes organic synthetic structured biocides in the long-term highly susceptible as nutritive substrate, thus reestablishing the preceding biodeterioration processes. In consequence and with regard to the design and use of microbiocides, proof of their effectiveness against a broad spectrum of material-specific microorgan-



Fig. 4. Lintong, Museum of the Terracotta Army, pit no. 2, detail: Whittish fungal contamination on terracotta fragments in an excavation area (June 1998).

isms has to be given in order to avoid later selectivity, adaptation and resistance by the prevailing microorganisms. Over and above that any possible detrimental side-effects for the treated material in terms of colour changes, corrosion or internal crystallisation has to be avoided and tested preliminarily in laboratory studies.²⁷ Finally, ecotoxicological considerations demand careful use of biocidal additives in order to limit a possible health risk for the conservator doing the application as well as later visitors to the cultural artifacts.²⁸

5. Microbiological Material Analysis

Attention to biodeterioration problems by people in charge of the restoration and conservation of the cultural heritage has revealed a growing demand for an entire evaluation of the importance of microbial impacts interacting with material-immanent properties as well as natural and anthropogenic influences during the deterioration process.²⁹ According to the proposed analytical strategies of May and Lewis (1988) as well as Becker et al. (1994), a consistent analytical approach comprises, in the following order

- object anamnesis (e.g. damage description, object history, climatic/environmental conditions, material properties, former protective treatments),
- non-destructive observations (e.g. videomicroscopy, remission spectroscopy, respiration/photosynthesis measurement, assessment of ATP-content),
- microscopical studies (e.g. biofilm staining procedures (PAS/FDA), light and fluorescence microscopy, SEM, CLSM),
- biochemical measurements (e.g. quantification of proteins / phospholipids as biomass, analysis of pigments), and finally
- microbiological investigations (e.g. enumeration of airborne and material-immanent microorganisms, characterisation and taxonomical classification of the microflora, simulations studies, toxicological studies).

In addition, the biodeteriorating effects need to be proven by a quantification of complementary changes in the material properties (e.g. discoloration, loss of weight, weakened stability, increased roughness, altered structure/porosity, increased absorbency/hydrophobicity). In the course of this work, changes in the physico-chemical behaviour of the material in the environment should be addressed, such as thermal-hygric stresses due to the darkening of the material surface by biogenic

²² RICHARDSON, 1988.

²³ KUMAR – KUMAR, 1999.

²⁴ RICHARDSON, 1988.

²⁵ LESZNICKA, 1992; HÖDL, 1994b.

²⁶ TIANO et al., 1995.

²⁷ WAKEFIELD – JONES, 1996; NUGARI, 1999.

²⁸ WARSCHIED – KUROZCKIN, 1997.

²⁹ KOESTLER et al., 1997.

³⁰ WARSCHIED et al., 1991; WARSCHIED, 1996b.

³¹ HÖDL, 1994a; AVERDIECK et al., 1997; FLANNIGAN, 1997.

³² ALLSOPP – TUBB, 2005.

³³ WARSCHIED – RUDOLPH, 2002.

³⁴ KRUMBEIN et al., 1993.

³⁵ PADFIELD, 2002.

³⁶ SEDLBAUR, 2002.

³⁷ WARSCHIED, 1999.

pigments, the tendency for increased deposition of pollutants due to the presence of a sticky biofilm and alteration in moisture transport due to the impact of pore-filling biofilms.³⁰ In specific cases, the potential hazardous impacts of microbial metabolites to human health (e.g. allergenic spores, toxins, pathogenic microorganisms) should be considered, analysed and additionally evaluated.³¹

6. Microbiology and Archaeology – Case Studies

The microbial impacts at archaeological sites include three major phases: (1) initial decay of vulnerable organic materials right after the burial and/or limited maintenance and care of the respective site during initial months and years, (2) transforming biodeterioration processes during the burying and uncontrolled exposure depending on prevailing environmental conditions over centuries and (3) post-excavation biodeterioration within days and months after the uncovering, safeguarding and conservation of historical artifacts.

The preservation of archaeological sites and their historical artifacts is thus basically favoured by low temperatures, natural dry conditions, artificial and natural preservation (i.e. salts) as well as low oxygen contents in the surrounding environment.

During the transformation period natural mechanical transformers (i.e. water flow, wind erosion, frost and silting), chemical transformers (i.e. acids, aerosols) and biological transformers determine the alteration and deterioration progress, whereas cultural transformations (i.e. ploughing, re-use) should also not be underestimated in this regard. After the excavation of archaeological monuments and artifacts microbial damage is stimulated again by considerable changes of the redox conditions through the enhanced access of humidity, oxygen and nutrients which support the contamination, infection and infestation of the archaeological artifacts by air- or waterborne microorganisms.³²

Organic archaeological artifacts should not be fundamentally declared to be potential nutrient sources, since there might be a good reason why they have survived for centuries.

For instance, microbiological investigations on the famous polychrome coatings on the warriors of the terracotta army in Lintong (China) have shown that the Oriental lacquer layer with its phenolic compounds is hardly attractive to the fungi contaminating all the rest of the excavation (Fig. 1, 4, 5). The microorganisms present here concentrate more and mainly on the mechanical detachment of the surface paint layers rather than on “eating them up”.³³

Mural paintings, whether based on fresco or secco techniques, offer a wide range of organic binders (e.g. casein, lime, oil, egg yolk) and – in the course of restoration treatments – consolidants and fixatives based on polymeric compounds (e.g. celluloseacetate, PVA, PMA). If sufficient water is available, biodeterioration will be expressed here in detrimental discoloration and/or decomposing biocorrosion, unless biocidal effective pigments (e.g. copper-containing malachite) happen to limit or even control the microbial activity considerably. If overall climatic control can be achieved on these objects and their surrounding environments, biodeterioration processes might be limited and controlled with less or even no application of biocidal additives.

The intensity of the microbial attack on historical glass objects and paintings depends mainly on the composition of the silica material. Especially high concentrations of potassium will

make the glass increasingly susceptible for microorganisms and their biocorrosive attack; additives of manganese- and iron-containing minerals will also induce microbial oxidation processes. Nevertheless the biodeterioration processes on glass mainly happen as a secondary effect in the course of preliminary corrosion processes caused by atmospheric pollutants, although they can also be initiated and supported by organic oil and wax varnish residues deriving from former historical restoration treatments. Careful cleaning and sufficient ventilation during treatments will help to control the biodeterioration processes here.³⁴

In archives, the impact of microorganisms on the deterioration of paper, parchment, leather and textiles seems to be a classical case of biodeterioration on cultural objects of historical value. Nevertheless, it has to be said that, in addition to the nutritive material, considerable amounts of moisture and humidity are needed to keep the biodeterioration going. Convincing definitions of humidity levels which could be regarded as favourable for microbial growth on archive material are missing and difficult to assess, since the climatic properties of the building and building materials (e.g. building physics, absorptivity), the maintenance of objects (e.g. cleaning) and types of materials affected differ from case to case and are presently not fully understood.³⁵ Moreover, our knowledge of the physiological behaviour of respective microorganisms (e.g. sporulation, germination) under these specific expositional conditions is scarce.³⁶ If we could reach a better understanding of the prevailing growth conditions of microorganisms in archives, it would be much easier to make environmentally friendly assessments and formulate effective countermeasure strategies.

Thus assessment of biodeterioration endangerment of cultural artifacts, whether archived indoors or openly exposed, including clear proof and differential diagnosis of microbial impacts within the actual deterioration process, will necessarily demand the development of integrated concepts with respect to long-term prevention.³⁷ The benefit of interdisciplinary and complementary cooperation among archaeologists, conservators and microbiologists in the evaluation and handling of biodeterioration impacts on cultural artifacts will be demonstrated exemplarily in the following case studies based on recent research activities by our laboratory within the framework of conservation practice.

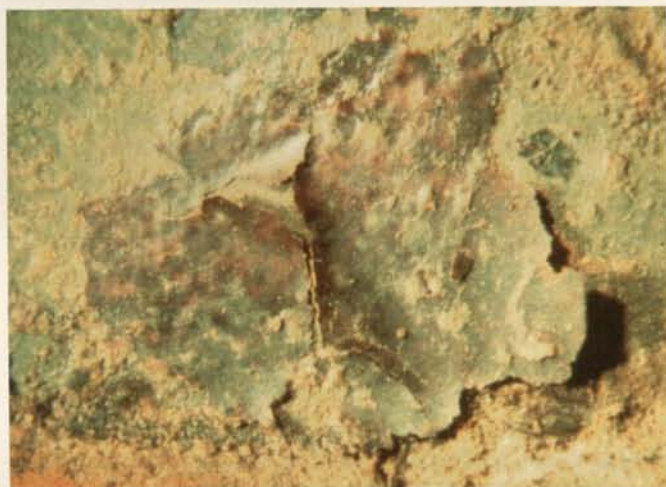


Fig. 5. Lintong, Museum of the Terracotta Army, pit no. 2, detail: Microbial biofilm migrating under the polychromic lacquer layer, accelerating the detrimental detachment process.



Fig. 6. Nydam Mose, a ritual location of the vikings in the south of Denmark: Overview on the excavation site.

6.1. Terracotta Army in Xian / China (polychrome coatings)

In order to improve the conservation techniques for the preservation and protection of the “Oriental lacquer” coating on the terracotta warriors in the mausoleum of the first Chinese emperor Qin Shi Huang in Lintong, the mechanisms of the alteration of the polychrome coatings and their consequences for the conservation treatments were analysed under the coordination of the Bavarian State Office for Preservation of Historic Buildings and Monuments in Munich (Germany) and the Museum of Terracotta Warriors and Horses of Qin Shi Huang in Lintong (China) (Fig. 1).

Microbial contamination could be observed on nearly all materials inside the excavation in Lintong (painted layers, terracotta, wood, loam; Fig. 4). The humidity ranged between 60 and 80%, sometimes reaching the dew point at the bottom of the excavation site. Consequently it was necessary to analyse the microbial contamination on the recovered terracotta fragments and at the excavation site and determine its taxonomical composition, distribution and metabolic activity (e.g. impression plates, quantification of air-borne microorganisms, ATP-analysis), to evaluate the supporting growth conditions (e.g. monitoring of climate data) and to develop effective countermeasures via specific climate controls and subsequent biocidal treatments (e.g. arrangement of test fields).

Within the conservation procedure for the polychrome coatings on the terracotta statues the insidious decomposition of the purely organic priming coat plays an important role. The coating is extremely sensitive to changes of its moisture content and shows extreme dry shrinking and deformation, leading to a steady loss of the historic paints. The conservation procedure starts therefore with the reduction of the dry shrinking and the consolidation of the paint layers; during this procedure, the microbial contamination of the fragments has to be controlled simultaneously at the humidity levels (90–95% r.H.) necessary for the preservation of the non-fixed coatings. In this context it was even necessary to test the consequences of the proposed conservation treatments on the microbial contamination in order to minimise the microbial endangerment of the fragments through adequate selection of protective agents.

The results of the microbiological investigations revealed that fungi are the most important contamination on the analysed fragments and at the excavation site itself; especially in the soil

samples the presence of actinomycetes could be proven and various cyanobacteria could be isolated from the terracotta *situ*. The isolated microflora show strong biocorrosive activity, including acid production and manganese-oxidation properties. In addition, the microbial contamination was suspected of causing hygienic problems within the excavation fields. While the function of the lacquer layer as a potential nutrient source could not be proven, the underlying microflora tends to infiltrate and detach the paint layer from the fragments (Fig. 5). This hidden contamination represents an important problem, especially for the preservation of the Oriental lacquer layer on the terracotta warriors.

The regular application of organic biocides had to be evaluated critically. The clayish, loamy soil absorbs and neutralises the active substances of the biocides very rapidly in its clay particles, and in the long-term microbial mineralisation it provides an important nutritive source for the reoccurring microflora. In order to control the biodeterioration problems on the terracotta fragments and at the Lintong excavation site, provisional recommendations called for regular climate control and ventilation in the excavation area in consideration of controlled drying of the lacquer layers and for disinfecting and subsequent biocidal treatment of the loamy soil of the bulwark using medical alcohol and an inorganic biocidal solution (e.g. 5–10% borax in tap water).

The cleaning, impregnation and consolidation of the terracotta fragments showed considerable relief from the microbial contamination and biodeterioration processes. Organic biocidal treatments (e.g. 0.5% CMK in iso-propanol) were sometimes advised during consolidation of the sensitive lacquer layers under high humidity conditions, whereas in most cases the application of medical alcohol was quite sufficient in order to control the infecting microflora during the conservation process.

6.2. Nydam Mose / Denmark (metals)

Recovering archaeological objects results in considerable changes in the environmental conditions the materials are exposed to; oxygen seems to be the most important factor here, sometimes starting or even accelerating biodeterioration



Fig. 7. Nydam Mose: Analytical devices with special designed micro-electrode devices (i.e. tube in front) to measure the oxygen levels respectively anoxic areas in the sediments of the excavation field.

processes on metals, wood, leather or textiles. On the other hand, if objects remain in their present environment, such as in sediments, soils and closed caverns, biodeterioration could also continue due to the activity of anaerobic microorganisms, such as sulphate-reducing bacteria or fermentative microorganisms.

Within a Danish research project on “in-situ-preservation” the possibility of safeguarding *in situ* cultural artifacts buried at a historical site in order to postpone costly conservation and maintenance until the future was studied and evaluated at various Viking excavation sites in Denmark.³⁸

In Nydam Mose, a ritual location of the Vikings in the south of Denmark, precious metal objects are buried in the muddy, waterlogged sediment of a former brackish-water lake containing sulphate and chloride in various concentrations scattered irregularly over the landscape. In addition the impact of nutrient rich waters from the surrounding farmland (i.e. nitrogen, phosphates, organics) led to a further increase of salt concentrations and also to high oxygen consumption in the soil, causing anoxic conditions around the historical site (Fig. 6).

With the help of specially designed microelectrode devices it was possible to measure the oxygen levels or anoxic areas within a large part of the historical site and to do profile-assessments of the redox conditions of the sediment to a depth of nearly 20 cm (Fig. 7). It could be shown that oxygen-depleted areas were not homogeneously distributed over the whole area. Nevertheless, certain anoxic areas correlated with high concentrations of sulphate and here the presence of potential metal-corroding, sulphate-reducing bacteria could be proven.

In this case, the microbiological assessment of bacterial presence and metabolic activity greatly helped the archaeologists to very precisely address the most microbially endangered areas of the historical sites and to focus on places where archaeological excavations are urgently needed in order to prevent loss of precious metal artifacts.

6.3. Temple of Angkor Vat / Cambodia (natural stone)

The Angkor temple complex is located near the town of Seam Reap close to lake “Tonle Sap” in the centre of Cambodia. The region lies in a tropical climate with intensive dry and rainy seasons. The buildings were built in the period between 802 and 1295. The assemblage of temples represents the largest religious monument in the world; more than 100 temples cover an area of 230 square kilometres (Fig. 8).

The studies described here for conservation of “Apsara” reliefs have been carried out since 1997 at “Angkor Vat”, the largest temple of the Angkor complex, as part of the German Apsara Conservation Project (GACP) of the restoration and conservation department at the Polytechnic University of Cologne (Germany) under the direction of Prof. Dr. H. Leisen.

Due to widespread corrosion and scaling of the sandstone, the “Apsara” reliefs in question are in danger of irretrievable loss. In order to develop an effective conservation strategy, it was necessary to analyse the causes of the stone deterioration and to evaluate the influence of the microbial impact.

Based on the experiences and results of earlier and recent microbiological studies by French and Japanese scientists³⁹



Fig. 8. Angkor Vat, temple: Natural stone affected by biocorrosive and biofouling microorganisms.

the most typical sites for biodeterioration processes at Angkor Vat were selected for detailed and long-term microbiological studies. In addition, microbiological investigations were also performed at Preah Ko, Preah Khan, Bayon and Banteay Srei in order to produce a very comprehensive view of the biodeterioration processes around the Angkor site.

The microbiological studies during 1997 and 2004 comprised the assessment of the quantity and quality of microbial infestations by algae, lichens, fungi, bacteria and actinomycetes within the stone profile, the monitoring of microbial metabolic activity over time and climatic conditions, the analysis of the possible impact of microorganisms on the deterioration of stone, and the development and testing of conservation and biocidal treatments in regard to possible strategies for control of biodeterioration processes.⁴⁰

The microbiological studies by GACP at Angkor Vat and surrounding temples at the Angkor site have revealed that the natural microflora on rocks is represented by a complex and stable microbial community of algae, cyanobacteria, fungi, lichens and bacteria (Fig. 12a-b). The microbial biofilms are mainly located in the uppermost layers of rocks, but certain microbes penetrate even deeper into profile of the stone. The metabolic activity of the microflora (i.e. respiration, photosynthesis) is very high, especially during rainy season, and results potentially in biocorrosive and biooxidation activities due to the excretion of organic acids and the oxidation of iron-containing minerals. Nevertheless the biodeterioration activities in mature biofilms (i.e. lichens) reach a natural balanced climax status, which should not be interfered with unless there is a conclusive and substantial conservation concept, all the more so because the natural microbial biofilm regulates the moisture and thermal absorption of the rocks at the Angkor site.

The consequences of uncontrolled removal of the lichen infestations was demonstrated after biocidal cleaning by an Indian conservation project in the early 1990s. The surface biogenic contamination at Angkor Vat was removed with brushes and highly toxic biocides, leading in the following years to an intensive blackening of the treated, naturally grey stone due to the intensive growth of cyanobacteria (Fig. 9). Considering the thermal effect of blackened surfaces especially in tropical climates, which adds hygric stress to the affected clay-containing stone surface, the developing contamination by the blackening microorganism has to be judged up to this point as a major

³⁸ SOERENSEN – GREGORY, 1998.

³⁹ POCHON et al. 1960; HYVERT, 1968; FUSEY, 1991; JSA 1995–2003.

⁴⁰ WARSCHIED, 2004.



Fig. 9. Angkor Vat, temple: The removal of the natural biofilm led to the overgrowth of blackening microorganisms with additional thermal-hygric stresses to the sensible claycontaining sandstone resulting in a severe detachment of rock shales from Apsara carvings.

threat for the endangered stone material, provoking the obvious massive formation of rock shales, in comparison to the moisture-balancing protective biopatina of green algae and multi-coloured lichens (Fig. 10).

Under these considerations the mature microbial biofilm infestations at Angkor Vat and surrounding temples at the Angkor site should remain in place until there is a thorough microbiological analysis and interdisciplinary evaluation. Cleaning or biocidal treatments should be applied only if the entire microbial community present at the Angkor Vat is controlled and only in places where it is essential for the support of stone consolidation treatments or to achieve better visibility or legibility of the historic artifacts. Organic biocides or those containing chloride should be avoided because of their toxicity, the lack of long-term efficacy and possible nutritive effects on remaining or reoccurring microflora. Synergistic treatments, combining the oxidative destabilisation of the microbial biofilms by hydrogen peroxide, soft mechanical cleaning of the stone surface and the subsequent application of metallic salts with depot function offered the most positive effects so far (Fig. 11a-b). In addition, the widespread contamination by fungi necessarily requires the application of microbially resistant consolidants in order to extend the durability of the proposed conservation treatment. In this regard the application of microbially resistant stone protective agents has to follow inter-

national standardised testing and proper hygiene at the site. The conservation activities need to be supported by constructive water protection and management. The long-term effect of any conservation treatment has to be ensured by ongoing maintenance and care of the monuments and temples at Angkor site.

Future research activities of GACP in regard to microbiological impacts on the rocks of the Angkor temple complex will include further microbiological ecology studies on the stone-colonising microflora, the evaluation of microbial biofilm damage (i.e. dilatation, drilling resistance, hardness), the microbiological testing of stone protective agents, mortars and coatings, the continuation of biocide field test operations (i.e. new applications, monitoring) and the possible application of bioremedial techniques (i.e. biocalcification, biodesalination) in GACP's ongoing conservation work.

6.4. Archaeological Site of Milet / Turkey (waterlogged marble)

Milet was one of the largest and most important towns in Asia Minor in the 7th and 6th centuries B.C., located about 100 km south of Smyrna, or modern Izmir. Because of the silting of the gulf by the Meander River, which carried large amounts of soil from the Anatolian highlands, Milet is now located about 10 km from the sea.

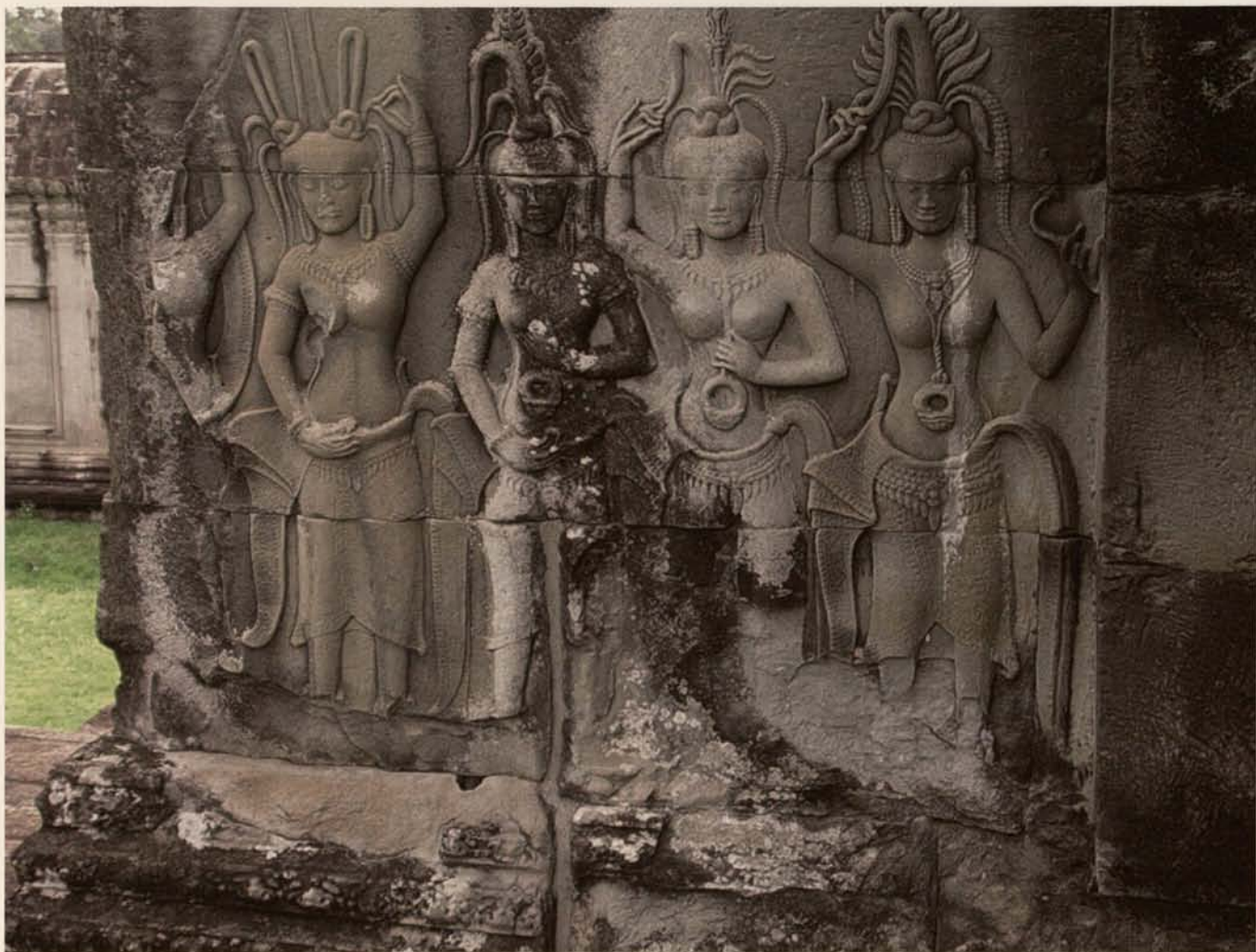


Fig. 10. Angkor Vat, temple, detail: The removal of the natural biofilm led to the overgrowth of blackening microorganisms with additional thermal-hygric stresses to the sensible claycontaining sandstone resulting in a severe detachment of rock shales from Apsara carvings.

During the last century of excavation activities, periodic flooding of the archaeological site of Milet (Turkey) led to a dramatic change in the appearance of waterlogged marble objects through the formation of grey/brownish-to-violet carbonate crusts on excavated marble fragments (Fig. 13).

The rough, porous but compact crusts exhibit a changing thickness from the lower (up to 4 mm) to the upper parts of the artifacts (with no visible crust). Distinct coloured zones can be recognised due to varying water levels: higher parts mainly exhibit a white-grey and lower parts a brownish-black appearance; in the spring, when the water level sinks, the marble fragments are covered with red-to-violet layers, which change to grey again during the dry summer season.

Microscopical, chemical, petrophysical and microbiological analyses have revealed that the surface carbonate precipitation on the marble (Fig. 14a) is mainly caused by the metabolic activity of photosynthetic algae and cyanobacteria within complex microbial mats, typical for the formation of stromatolites in hypersaline marine environments.⁴¹

The marble fragments covered with those crusts show different forms of damage. On the lower sections larger scales are separating from the marble surface, while the upper sections

sometimes show a distinct flaking; the flakes contain marble grains at the back, verifying the damage potential of this crust. Compared to the white marble with well sorted large calcite crystals, the grey sections are characterised by smaller calcite grains which are more poorly sorted. Several layers form crusts like annual rings. Grains of different dimensions and composition are embedded in the crust matrix formed by soil particles, microorganisms and plant residues.

Further biological analysis documented the presence of organotrophic bacteria, fermenting microorganisms, photosynthetic algae and cyanobacteria, anoxygenic sulphur bacteria and sulphate-reducing bacteria, representing a complex microbe system such as can also be observed in stromatolite formations worldwide.

The presence of the microorganisms and the appearance of the crust layers clearly indicate that crusts are formed by a microbe mat which is activated during the flooding period. In the course of the biogenic formation of fine-grained calcite within this microbial layer (probably using calcium as the ionic part of the water and dissolved carbon dioxide from the air), soil particles and other small compounds of the muddy water may be additionally caught and fixed in the viscous mat. In the summertime when the water level is sinking the biological layers will be dried (mainly in those areas without a sufficient water reservoir from the ground). A hard, grey-to-brown crust is

⁴¹ BRÜGGERHOFF et al., 1999.



Fig. 11a. Angkor Vat, northern bibliotheca, detail: before the conservation treatment.

formed; representing in type and content the components of the surrounding mud. Microbes partly move back underneath the surface to start growing again when environmental conditions improve during the next flooding cycle. If there is sufficient water available red bacteria types will remain at the surface, sometimes causing an extensive colouring of the objects.

In order to evaluate the possible detrimental or protective functions of those biogenic carbonate crusts and to develop further sustainable conservation strategies, the development of the biogenic precipitations and discolorations was documented and their physico-chemical and microbiological properties were analysed during a seven-year study.

All crust samples at least exhibited similar mineralogical characteristics; differences were only caused by an irregular disruption of the layers (probably caused by dissolution processes) resulting in a very porous and weak structure (i.e. 17 Vol%; median pore diameter: about 5 μm) compared to the porosity of the genuine marble (i.e. 0.3 Vol%; median pore diameter about 0.05 μm). This enormous difference in material structure will cause a difference in thermal expansion behaviour (dark areas

at the base of a column were warmed up about 2.5°C more than the higher yellowish white sections), leading to scaling processes in the thick crusts and to slight deterioration of the underlying marble, as shown by ultrasonic measurements. On the other hand hygric measurements revealed that the exterior of the crust forms a water repellent zone at the front, probably due to microbial biofilms, limiting the desiccation of the microbial microenvironment and thus protecting the marble from the penetration of hypersaline salt waters.

Using scientific methods, different cleaning procedures and biocidal treatments (laser, mechanical and chemical procedures) were tested for their efficacy in removal of the aesthetically detrimental crusts and for control of microbial infestations on the marble surfaces at the site, in order to avoid later crust formations (Fig. 14b). In addition, the consequences of those conservation treatments should be subjected to interdisciplinary evaluation with regard to the preservation of historical marble fragments and the sustainability of the interventions.

Mechanical treatment (pneumatic operating chisel, a pneumatic dissecting graver and micro-sandblast equipment) had proven to be a suitable technique in terms of both cleaning results and preservation of the marble surface, but it demands enormous amounts of time.

Future research activities will deal further with the analysis of causes and the dynamics of the biocarbonatisation process due to periodic flooding and will refer recommendations for the conservation of historical artifacts in Milet to other related places of historical importance in the Mediterranean area as much as possible.

7. Future Needs for an Interdisciplinary Approach in Conservation Microbiology

Based on the fundamentals of microbial impact on materials and the case studies presented here any archaeological activities or conservation interventions at historical sites should pay special attention to potential microbial impact on the deterioration of the cultural artifacts or archaeological sites as part of a strong interdisciplinary risk analysis.⁴²



Fig. 12a-b. Angkor, temple complex, details: Natural multicoloured biofilms of different photosynthetic microorganisms (i.e. lichens, algae and cyanobacteria), distinctly separated due to expositional factors and interspecific competition.

⁴² WARSCHIED, 2003.

In this context, an extensive microbiological analysis within biodeterioration studies of materials in the restoration and conservation of cultural artifacts is mainly dependent on the timely recognition and evaluation of microbially influenced material damages and their hygienic relevance. Relatively non-destructive methods for detection and analysis of biodeterioration processes (i.e. *in situ*-microscopy, remission spectroscopy, contact agar enrichments and molecular biological techniques) are at hand for this.

Basic measures in practice-related conservation of the cultural heritage will start with control of environmental parameters favouring microbial infections and growth. Nevertheless, the preservation of prevailing environmental conditions or their careful alteration towards favourable exposure conditions should always be carefully balanced and analysed for their possible consequences. Moreover, conservation practice is expected to provide a systematic documentation of techniques, materials and treatments in individual cases in order to work out guidelines to enhance or even control biodeterioration processes on cultural artifacts, at the same time minimising the application of microbiocides with respect to ecotoxicological considerations. In addition, biotechnological processes will be developed using biogenic desalination and carbonation capabilities in conservation practice.

Long-term sustainable conservation strategies should therefore be adequately based on physical, chemical and biological interventions respecting the natural balance of the archaeological site in question.

Abstract

In the course of the excavation of archaeological artifacts considerable changes in the prevailing exposure conditions have to be taken into account in regard to the development and application of subsequent conservation treatments. Mostly exposed or buried in moist or/and nutrient rich environments and therefore naturally contaminated by microorganisms, these historical materials are especially endangered by biodeterioration processes due to the excretion of inorganic and organic acids, biooxidation of metals as well as the formation of surface-covering biofilms before and after exposure. The biogenic damage leads to changes of the material properties, enhancement of material disintegration, and consequent loss of original substance and historical information (i.e. polychromic coatings, metal objects, glass paintings, stone carvings, wall paintings and wood). Moreover, health-related impacts of microbial contamination have to be considered in regard to restorers in charge of the conservation of the artifacts. Nevertheless biogenic crusts developed over the long-term might also act as protective barriers and help to preserve archaeological objects from environmental damage. Due to the formation of these mainly surface related biomineralized encrustations it is possible to prove traces of stonemasons' carvings, remains of historical pigments and material modifications even after centuries. With the presentation of different case studies (i.e. China, Denmark, Cambodia and Turkey) the importance of microbial impacts on archaeological artifacts will be evaluated and necessary conservation strategies for improved protection and sustainable conservation treatments of the historical objects in different environments will be discussed.



Fig. 11b. Angkor Vat, northern bibliotheca, detail: Successful application and longterm efficient protection of a specific designed biocidal formulation (four years after treatment).

Zusammenfassung

Mikrobiologie und Archäologie. Mikrobielle Einflüsse bei der Ausgrabung und Konservierung historischer Stätten

Die mikrobielle Einflußnahme an archäologischen Stätten umschreibt im wesentlichen drei verschiedene Phasen: (1) den anfänglichen Verfall empfindlicher organischer Materialien unmittelbar mit Beginn der Erdlagerung bzw. aufgrund mangelhafter Erhaltung und Pflege an den betreffenden Stätten im Laufe der ersten Monate und Jahre, (2) materialverändernde, mikrobiell-induzierte Transformationsprozesse während der Erdlagerung bzw. unkontrollierter atmosphärischer Exposition entsprechend der jeweilig vorherrschenden Umweltbedingungen in den folgenden Jahrhunderten sowie (3) biologische Verwitterung in Folge der Ausgrabung, Sichtung und Konservierung der historischen Artefakte im Rahmen von wenigen Tagen bis Monaten.

Die Erhaltung archäologischer Stätten und der darin befindlichen historischen Objekte wird daher zunächst grundlegend durch niedrige Temperaturen, natürliche Trockenheit, künstliche wie natürliche Konservierung (z.B. Salze) sowie niedrige Sauerstoffgehalt in der umgebenden Umwelt begünstigt. Wäh-

rend der Transformationsphase bestimmen natürliche mechanische Umwandlungsfaktoren (z.B. Wassereintrag, Winderosion, Frost und Schlamm), chemische Einflüsse (z. B. Säuren, Aerosole) sowie auch die vorhandenen biologischen Agenzien (z.B. Mikroorganismen, Pflanzen und Insekten) das Fortschreiten der materialverändernden bzw. -zerstörenden Prozesse, wohingegen auch kulturell-begründete Einflußnahmen (z.B. Plünderungen, Umnutzungen) in diesem Zusammenhang nicht unberücksichtigt bleiben sollten. Mit der Freilegung der archäologischen Stätten und ihrer historischen Funde wird die mikrobielle Einflussnahme erneut stimuliert, insbesondere durch die Veränderungen der Redoxbedingungen im Zuge des verstärkten Zutritts von Feuchtigkeit, Sauerstoff und Nährstoffen, die die Kontamination, die Infektion und den Befall der archäologischen Objekte durch luft- bzw. wassergebundene Mikroorganismen unterstützen.

Im Verlauf archäologischer Ausgrabungen müssen daher die potentiellen Änderungen der jeweiligen Expositionsbedingungen für die betreffenden historischen Objekte in Hinblick auf die Entwicklung und Anwendung nachfolgender Konservierungsbehandlungen angemessen berücksichtigt werden. Überwiegend im feuchten und nährstoffreichen Erdboden eingegraben und von daher bereits natürlich mit Mikroorganismen kontaminiert, sind die betreffenden historischen Objekte verschiedenen Prozessen biologischer Verwitterung, wie der Biokorrosion durch anorganische und organische Säuren, der enzymatischen Biooxidation von Metallen sowie der Anlagerung schleimiger Biofilme im Rahmen des Biofouling ausgesetzt. Die mikrobiellen Schadensprozesse führen zu Veränderungen der Materialeigenschaften, der beschleunigten Materialzersetzung und dem nachhaltigen Verlust an Originalsubstanz und historischer Information (i.e. Farbfassungen, Metallobjekte, Glasmalereien, Gesteinsinschriften, Wandmalereien und Holz). Darüber hinaus müssen auch gesundheitsrelevante Einflüsse des mikrobiellen Befalls in Hinblick auf die Gesundheit der verantwortlichen Restauratoren berücksichtigt werden.

Biologisch-induzierte Krusten können jedoch auch als schützende Beschichtungen für archäologischen Objekte gegenüber schädigenden Umwelteinflüssen dienen. Durch die Bildung derartiger oberflächlich gebundener biomineralisierter Inkrustationen kann es zudem möglich sein, die Spuren ehemaliger Steinmetzarbeiten, den Verbleib historischer Pigmente oder etwaige Materialmodifikationen auch noch nach Jahrhunderten nachzuweisen.

Organisch basierte, archäologische Materialien müssen nicht immer als potentielle Nährstoffquellen und damit mikrobiell gefährdete Objekte bewertet werden, da sicherlich auch gute Gründe dafür bestehen, dass diese Artefakte über Jahrhunderte hinweg haben überdauern können. So haben die mikrobiologischen Untersuchungen an den berühmten polychromen Farbfassungen auf den Figuren der Terrakotta-Armee in Lintong (China) gezeigt, dass die historische Lackschicht mit ihren phenolhaltigen Komponenten keine besondere Attraktivität für den vorherrschenden Pilzbefall in der Ausgrabung darstellte. Die nachweisbaren Mikroorganismen konzentrierten sich vielmehr und hauptsächlich auf die mechanische Ablösung der Farbeschichtungen als auf deren enzymatische Zersetzung.

Wandmalereien, ob in Fresko- oder Secco-Technik erstellt, bieten zunächst ein breites Spektrum an organischen Bindemitteln (z.B. Kasein, Öle, Eiweiß) sowie – im Zuge nachfolgender Restaurierungen – auch verschiedener polymerer Kleber und Fixative (z.B. Zelluloseacetat, PVA, PMA). Doch nur wenn



Fig. 13. Milet, harbour monument: spring flooding within the archaeological site.

genügend Feuchtigkeit verfügbar ist, kann sich hier der mikrobielle Befall in einer ästhetisch-beeinträchtigenden Verfärbung bzw. einer zersetzenden Biokorrosion äußern, sofern nicht biozid wirksame Pigmente (z.B. kupferhaltiges Malachit) die mikrobielle Aktivität begrenzt oder sogar nachhaltig behindert. Wenn darüber hinaus eine Einschränkung der Feuchtigkeitsbelastungen durch eine gezielte Klimakontrolle am betreffenden Wandmalereieobjekt beziehungsweise in dessen Umgebung gewährleistet werden kann, können mikrobiell induzierte Schadensprozesse hier auch ohne den weitreichenden Einsatz von keimhemmenden Bioziden eingeschränkt werden.

Die Intensität von biologischer Verwitterung an historischen Glasobjekten und -malereien wird im wesentlichen durch die Zusammensetzung der silikatischen Werkstoffe bestimmt. Insbesondere hohe Konzentrationen an Kalium können historische Gläser besonders empfindlich für Mikroorganismen und deren biokorrosiven Angriff machen; darüber hinaus fördern mangan- bzw. eisenhaltige Komponenten die mikrobielle Biooxidation. Entsprechende Prozesse an historischen Glasobjekten basieren in der Regel auf einem Sekundäreffekt im Anschluss an vorlaufende Korrosionsvorgänge, die vornehmlich auf atmosphärische Schadstoffe zurückgehen. Dennoch können mikrobiell-induzierte Schadensprozesse an derartigen Objekten auch durch die Zugabe von organischen Ölen, Seifen und Wachsen im Rahmen restauratorischer Behandlungen initiiert und unterstützt werden. Daher ist bei der Wahl der Reinigungs- und Konservierungsmittel im Rahmen der Behandlung von historischen Glasmalereien besondere Vorsicht geboten.

In Bibliotheken und Archiven erscheint der Einfluss von Mikroorganismen auf die Zerstörung von Papier, Pergament, Leder und Textilien als ein klassischer Fall von biologischem Angriff an kulturell wertvollen Artefakten. Allerdings muss auch hier herausgestellt werden, dass neben den nährstoffreichen Materialien auch ausreichende Mengen an Feuchtigkeit notwendig sind, um die mikrobiell-induzierten Schadensprozesse auszulösen. Eine verlässliche Definition der Feuchtegehalte, die für das Wachstum von Mikroorganismen auf Archivmaterialien günstig erscheinen, ist bislang kaum möglich und schwierig zu bestimmen, da hier häufig die klimatischen Eigenschaften der Gebäude und ihrer Baumaterialien (z.B.



Fig. 14a-b. Milet, marble columns: Surficial carbonate precipitation mainly caused by the metabolic activity of photosynthetic algae and cyanobacteria (a) and different cleaning treatments (laser, mechanical and chemical procedures) to remove the aesthetical detrimental crusts (b).

Bauphysik, Feuchtesorption), die Archivpflege (z. B. Reinigung, Staubablagerungen) sowie auch die Art der jeweils betroffenen Archivmaterialien (s.o.) von Fall zu Fall höchst unterschiedlich sind und daher individuell betrachtet werden müssen. Darüber hinaus ist unser Wissen über das physiologische Verhalten der jeweiligen Mikroorganismen (z. B. Sporenbildung, Sporenkeimung) unter den oben genannten, spezifischen Expositionsbedingungen sehr begrenzt und macht insbesondere hier weitere Forschungsanstrengungen notwendig. Ein besseres Verständnis für die jeweiligen Wachstumsbedingungen von Mikroorganismen in Archiven, Museen und anderen historisch geprägten Innenräumen (z.B. Kirchen), würde die Entwicklung und Anwendung umweltfreundlicher und effektiver Behandlungsstrategien gegen mikrobielle Schadenseinflüsse sehr erleichtern und deren Nachhaltigkeit verbessern.

Die mikrobiologische Analyse von biologischer Verwitterung an archäologischen Objekten, ob in Innenräumen oder im Außenbereich, sowie der eindeutige Nachweis und die Bewertung des mikrobiellen Einflusses im Rahmen des vorliegenden Schadensprozesses verlangt nach integrierenden Konzepten, um einen nachhaltigen Erfolg der anstehenden Konservierungsarbeiten zu gewährleisten. Der unmittelbare Nutzen einer fachübergreifenden Zusammenarbeit zwischen Archäologen, Restauratoren und Mikrobiologen in der Einschätzung und Behandlung von mikrobiell-induzierten Schadensprozessen im Rahmen der Ausgrabungen wie bei der Behandlung des Fundmaterials wird in dem hier vorliegenden Beitrag anhand verschiedener archäologischer Fallstudien aus China, Dänemark, Kambodscha und der Türkei erläutert, bewertet und hinsichtlich möglicher Strategien für einen verbesserten Schutz und nachhaltige Konservierungsbehandlungen der betreffenden Objekte unter verschiedenen Umfeldbedingungen diskutiert.

Photo credits

Fig. 1: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München (Foto: Archive of the Museum of the Terracotta Warriors and Horses, Lintong); Fig. 2–14: Dr. Thomas Warscheid, Wiefelstede.

References

- Olaf C.G. ADAN, On the fungal defacement of interior finishes (PhD-Thesis TU Eindhoven), Eindhoven 1994.
- Dennis ALLSOPP, P. TUBB, Biodeterioration and archaeology: the role of biological agents in formation processes, sites and post-excavation treatments, in: Proceedings of the 13th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium, Madrid 2005.
- Barbara AVERDIECK, Christoph DEININGER, S. ENGELHART, Th. MISSEL, W. PHILIPP, F.G. RIEGE, B. SCHICHT, Reinhard SIMON, Bestimmung der Konzentration biologischer Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz (Erster Ringversuch "Schimmelpilze"), in: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 57, 1997, pp. 129–136.
- Thomas W. BECKER, Wolfgang E. KRUMBEIN, Thomas WARSCHIED, Maria A. RESENDE, Investigations into Microbiology, in: H. K. BIANCHI (Ed.), IDEAS – Investigations into Devices against Environmental Attack on Stones, Final report (GKSS-Forschungszentrum), Geesthacht 1994, pp. 147–190.
- Stefan BRÜGGERHOFF, Sabine CHEBA, Hans LEISEN, Thomas WARSCHIED, Carbonate crusts on marble fragments at the excavation site in Milet, Turkey: Examination of crust formation and first results of a cleaning concept, in: 12th Triennial Meeting Lyon of the ICOM Committee for Conservation, London 1999, pp. 731–736.
- Brian FLANNIGAN, Air sampling for fungi in indoor environments, in: J. Aerosol Sci 28 (3), 1997, pp. 381–392.
- Hans-Curt FLEMMING, Gabi SCHAULE, Biofouling, in: Werkstoffe und Korrosion 45 (1), 1994, pp. 29–39.
- Pierre FUSEY, Alterations Biologiques des Grès cambodgiens et recherche de Moyens de protection – Essai de synthèse (École Française d'Extreme-Orient), Paris 1991.
- F. GALLO, Aerobiological research and problems in libraries, in: Aerobiologia 9 (2–3), 1993, pp. 117–130.
- Ingrid HÖDL, Selbstschutz für Archivmitarbeiter, in: Restauratorenblätter IIC (International Institute for conservation and restoration of artistic arts), 1994, pp. 73–79 (= HÖDL, 1994a).
- Ingrid HÖDL, Restaurierung und Konservierung von mikroorganismenbefallenen Archivalien im Steiermärkischen Landesarchiv, in: Restauratorenblätter IIC (International Institute for conservation and restoration of artistic arts), 1994, pp. 65–72 (= HÖDL, 1994b).
- Giselle HYVERT, Altération des grès des monuments khmers (Thèse d'Université Paris VI), Paris 1968.
- JSA, Investigations of Deteriorating Organisms and Control Methods, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, July 1995, pp. 417–422.
- JSA, Aerial Algae collected from Angkor Monuments, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, July 1996, pp. 430–438 (= JSA, 1996a).
- JSA, Experiments of Controlling Methods of Growth of Algae and Lichens, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, July 1996, pp. 439–441 (= JSA, 1996b).
- JSA, Deteriorating Process of Stone Materials by Lichens – New Anti Lichens Treatments – Tests to control Lichens and Algae at Angkor Materials, Methods and Results, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, July 1998, pp. 395–410.
- JSA, Microbiological Analyses of Deteriorating Stone Materials – Records of Algaecidal and Lichenocidal Tests, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, July 1999, pp. 179–195.
- JSA, Investigations of Biodeterioration and its Control, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, March 2000, pp. 80–90.
- JSA Conservation Science Survey (II) Research on Microorganisms, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, November 2003, pp. 321–327 (= JSA, 2002a).
- JSA Conservation Science Survey (III) Bad Research of Angkor Monument, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, November 2003, pp. 329–333 (= JSA, 2002b).
- JSA Conservation Science Survey (I) Test for the Removal of Algae and Lichens, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, November 2003, pp. 183–194 (= JSA, 2003a).
- JSA Conservation Science Survey (II) Research on Microorganisms, Annual Report on the Technical Survey of Angkor Monument, November 2003, pp. 195–203 (= JSA, 2003b).

- Robert J. KOESTLER, Peter BRIMBLECOMBE, Dario CAMUFFO, William S. GINELL, Thomas E. GRAEDEL, Peter LEAVENGOOD, Julia PETUSHKOVA, Michael STEIGER, Clara URZI, Veronique VERGÈS-BELMIN, Thomas WARSCHIED, How do External Environmental Factors Accelerate Change?, in: Wolfgang E. KRUMBEIN, P. BRIMBLECOMBE, D.E. COSGROVE and S. STANFORTH (Eds.), *Durability and Change – The Science, Responsibility and Cost of Sustaining Cultural Heritage*, New York 1992, pp. 149–163.
- Robert J. KOESTLER, Thomas WARSCHIED and Fernando NIETO, Biodegradation: Risk Factors and their Management, in: Norbert S. BAER, Rolf SNETHLAGE (Eds.), *Saving our Cultural Heritage: The Conservation of Historic Stone Structures*, New York 1997, pp. 25–36.
- Robert J. KOESTLER, Polymers and resins as food for microbes, in: O. CIFERRI, Piero TIANO, G. MASTROMEI (Eds.), *Of Microbes and Art. The role of Microbial Communities in the degradation and protection of cultural heritage* (Proceedings of the ICMC), 1999, pp. 193–196.
- Rakesh KUMAR, Anuradha V. KUMAR, Biodeterioration of stone in tropical environments – An overview (The Getty Conservation Institute, Research in Conservation Series), Los Angeles 1999.
- Wolfgang E. KRUMBEIN, Anna GORBUSHINA, Curt RUDOLPH, Clara URZI, Thomas WARSCHIED, Biological investigations on the question of organic and inorganic eutrophication induced biocorrosion and biogenic deposits on late medieval church windows of the cathedral of Tours and St. Katharina in Oppenheim, in: Stephan Freiherr von WELCK (Ed.), *Gemeinsames Erbe gemeinsam erhalten – 1. Statuskolloquium des Deutsch-Französischen Forschungsprogramms für die Erhaltung von Baudenkmälern*, Karlsruhe 1993, pp. 26–278.
- Stanislawa LEZNICKA, Antimicrobial protection of stone monuments with p-hydroxybenzoic acid esters and silicone resin, in: J.D. RODRIGUES, F. HENRIQUES, F.T. JEREMIAS (Eds.), *Proceedings of the VIIth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Lisbon 1992, pp. 481–490.
- Eric MAY and F.J. LEWIS, Strategies and techniques for the study of bacterial populations on decaying stonework, in: *Proceedings of the VIth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Torun (Torn) 1988, pp. 59–70.
- Eric MAY, F.J. LEWIS, S. PEREIRA, S. TAYLER, M.R.D. SEAWARD, Dennis ALLSOPP, Microbial deterioration of building stone – a review, in: *Biodeterioration abstracts 7/2*, 1993, pp. 109–123.
- Ralph MITCHELL, Gu Ji-DONG, Interactions between air pollutants and biofilms on historic limestone, in: O. CIFERRI, Piero TIANO, G. MASTROMEI (Eds.), *Of Microbes and Art. The role of Microbial Communities in the degradation and protection of cultural heritage* (Proceedings of the ICMC), 1999, pp. 143–145.
- Maria Pia NUGARI, Interference of antimicrobial agents on stone, in: O. CIFERRI, Piero TIANO, G. MASTROMEI (Eds.), *Of Microbes and Art. The role of Microbial Communities in the degradation and protection of cultural heritage* (Proceedings of the ICMC), 1999, pp. 211–214.
- Tim PADFIELD, The window in Context: The influence of the other components of a building on the function of the window, in: *Progress Report to Energiestyrelsens "Projekt Vindue"*, 2002.
- Esther von PLEHWE-LEISEN, Thomas WARSCHIED, Hans LEISEN, Studies of longterm behaviour of conservation agents and of microbiological contamination on twenty years exposed treated sandstone cubes, in: J. RIEDERER (Ed.), *Proceedings of the 8th international congress on deterioration and conservation of stone*, Vol. 2, Berlin 1996, pp. 1029–1037.
- Jaques POCHON, Pierre TARDIEUX, Jaqueline LAJUDIE, Madeleine CHARPENTIER, J. DELVERT, R. TRIAU, M. BREDILLET, Dégénération des temples d'Angkor et processus biologiques, in: *Annales de l'Institut Pasteur*, 98, 1960, p. 487.
- Barry A. RICHARDSON, Control of microbial growth on stone and concrete, in: D.R. HOUGHTON, R.N. SMITH, H.O.W. EGGINS (Eds.), *Biodeterioration 7*, London – New York 1988, pp. 101–106.
- Carlos SAIZ-JIMENEZ, Deposition of air-borne organic pollutants on historical buildings, in: *Atmospheric Environment*, 27 B, 1995, pp. 77–85.
- Klaus SEDLBAUR, Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen, in: *Bauphysik* 24 (3), 2002, pp. 176–184.
- Barbara SOERENSEN, D. GREGORY, *In situ* preservation of artifacts in Nydam Mos, Metal 98, in: W. MOUREY, L. ROBBIOLO (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Metal Conservation*, London 1998, pp. 94–99.
- Piero TIANO, M. CAMAITI and P. ACCOLLA, Methods for evaluation of products against algal biocoenosis of monumental fountains, in: *Methods of evaluating products for building materials in monuments* (ICCRUM-International Colloquium), Rome 1995, pp. 75–86.
- Piero TIANO, Lucia BIAGIOTTI, Susanna BRACCI, Biodegradability of products used in monuments conservation, in: O. CIFERRI, Piero TIANO, G. MASTROMEI (Ed.), *Of Microbes and Art. The role of Microbial Communities in the degradation and protection of cultural heritage* (Proceedings of the ICMC), 1999, pp. 197–199.
- Rachel D. WAKEFIELD, Melanie S. JONES, Some effects of masonry biocides on intact and decayed stones, in: J. RIEDERER (Ed.), *Proceedings of the 8th international congress on deterioration and conservation of stone*, Vol. 2, Berlin 1996, pp. 703–716.
- Thomas WARSCHIED, Karin PETERSEN and Wolfgang E. KRUMBEIN, Effects of cleaning on the distribution of microorganisms on rock surfaces, in: D.R. HOUGHTON, R.N. SMITH, H.O.W. EGGINS (Eds.), *Biodeterioration 7*, London – New York 1988, pp. 455–460.
- Thomas WARSCHIED, Michael OELTING, Wolfgang E. KRUMBEIN, Physico-chemical aspects of biodeterioration processes on rocks with special regard to organic pollution, in: *International Biodeterioration and Biodegradation 28*, 1991, pp. 37–48.
- Thomas WARSCHIED, Wolfgang E. KRUMBEIN, Biodeterioration of Inorganic Nonmetallic Materials – General Aspects and Selected Cases, in: E. HEITZ, Wolfgang SAND, Hans-Curt FLEMMING (Eds.), *Microbially Induced Corrosion of Materials*, Berlin - London 1996, pp. 273–295.
- Thomas WARSCHIED, Thomas W. BECKER, Joana BRAAMS, Stefan BRÜGGERHOFF, Cornelia GEHRMANN, Wolfgang E. KRUMBEIN, Karin PETERSEN, Studies on the temporal development of microbial infection of different types of sedimentary rocks and its effect on the alteration of the physico-chemical properties in building materials, in: M.-J. THIEL (Ed.), *Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress "Conservation of Stone and Other Materials"*, Vol. 1: Causes of Disorders and Diagnosis, Paris 1993, pp. 303–310.
- Thomas WARSCHIED, Impacts of microbial biofilms in the deterioration of inorganic building materials and their relevance for the conservation practice, in: *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 2*, 1996, pp. 493–504 (= WARSCHIED, 1996a).
- Thomas WARSCHIED, Biodeterioration of Stones: Analysis, Quantification and Evaluation, in: *Proceedings of the 10th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium* (Dechema-Monograph, 133), Frankfurt/M. 1996, pp. 115–120 (= WARSCHIED, 1996b).
- Thomas WARSCHIED, Joana KUROCZKIN, Preventive and Protective Treatments against Biodeterioration of Stone, in: *Proceedings of the Residential Course "Biotechnology and the preservation of cultural artifacts"*, Turin 1997.
- Thomas WARSCHIED, Integrated Concepts for the Protection of Cultural Artifacts against Biodeterioration, in: O. CIFERRI, Piero TIANO, G. MASTROMEI (Ed.), *Of Microbes and Art. The role of Microbial Communities in the degradation and protection of cultural heritage* (Proceedings of the ICMC), 1999, pp. 185–202.
- Thomas WARSCHIED, Joana BRAAMS, Biodeterioration of Stones – a review, *International Biodeterioration and Biodegradation 46*, 2000, pp. 343–368.
- Thomas WARSCHIED, Curt RUDOLPH, Microbiological examinations for the Preservation of Chinese Polychromy from the Qin- and Han-Dynasty, in: Catharina BLÄNSDORF, Erwin EMMERLING, Michael PETZET (Eds.), *Qin Shihuang – The Terracotta Army of the First Chinese Emperor/Die Terrakottaarmee des Ersten Chinesischen Kaisers* (Monuments and Sites II; = Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 83), Munich 2001, pp. 702–724.
- Thomas WARSCHIED, The Evaluation of Biodeterioration Processes on Cultural Objects and Respective Approaches for their Effective Control, in: Robert J. KOESTLER, V.H. KOESTLER, A.E. CHAROLA, F.E. NIETO-FERNANDEZ (Eds.), *Art, Biology and Conservation 2002: Biodeterioration of Works of Art*, New York 2003, pp. 14–27.
- Thomas WARSCHIED, Biodeterioration studies at Angkor Vat. Research Project-Report 003 within the GACP – German Apsara Conservation Project 1997–2004, (Ms.) 2004.
- Eberhard WENDLER, New materials and approaches for the conservation of stone, in: Norbert S. BAER, Rolf SNETHLAGE (Eds.), *Saving our Cultural Heritage: The Conservation of Historic Stone Structures*, New York 1997, pp. 181–196.

Klimabedingte Schäden an Raum und Ausstattung.

Fallbeispiele aus Baden-Württemberg

Kulturdenkmale und ihre Ausstattungen unterliegen je nach Gebrauch und Nutzung einem Verschleiß, der den substanziellen Bestand gefährdet. Hierbei treten alterungsbedingte Materialveränderungen in der Regel weitaus weniger in Erscheinung als Schäden, die durch das Umfeld sowie durch Eingriffe und Veränderungen verursacht werden. Bauphysikalische Einflüsse verändern wesentlich das Materialgefüge, sie bilden nach heutigem Kenntnisstand das größte Gefahrenpotential für den Erhalt unseres kulturellen Erbes. Eine der Hauptursachen ist in den heutigen Nutzungsansprüchen von Kirchenräumen, Schloss-Sälen, Bibliotheken und anderen historischen Räumen für Veranstaltungen mit hohen und zum Teil kurzfristigen Belastungen zu sehen (Abb. 1).

Bis zu Beginn des technischen Zeitalters waren historische Innenräume mit ihren Ausstattungen, abgesehen von zu Wohnzwecken genutzten Räumlichkeiten, in der Regel den jahresbedingten klimatischen Schwankungen ausgesetzt. Festliche Räume in Schlossbauten, Klöstern und Palästen sind auch damals für Großveranstaltungen genutzt worden, hauptsächlich aber nur in den wärmeren Jahreszeiten. Soweit Heizstellen in den Räumen vorhanden waren wie: offene Kamine, Kachelöfen oder schamottierte Eisengußöfen, war die Wärmeabstrahlung und Wärmeverteilung im Raum weitaus geringer als bei modernen Heiztechniken. Dies wiederum hatte eine langsamere Erwärmung der Materialgefüge zur Folge. Auch die Abkühlphase war bei geschlossenen Ofensystemen länger, so dass sich die Raumluft der Umgebung wieder angleichen konnte.

Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert kamen vermehrt neue Werkstoffe bei Umbauten und Reparaturen am historischen Baugefüge zur Anwendung. Die Auswirkungen und Schäden sind heute hinlänglich bekannt. Es hat leider über hundert Jahre gedauert, bis ein differenzierter Einsatz moderner Werkstoffe nach kritischem Abwägen der Verträglichkeit mit dem historischen Bestand in das Bewusstsein der Verantwortlichen gelangte.

Mit dem Einbringen moderner Werkstoffe in das historische Baugefüge und zur Reparatur innerhalb bestehender Trägermaterialien wie im direkten Anschluss an den Bestand, entstehen bauphysikalisch unterschiedlich reagierende Gefüge, die in Abhängigkeit vom umgebenden Klima über einen längeren Zeitraum den historischen Bestand gefährden.

Umbauten, Veränderungen und Reparaturen hat es am überkommenden Bestand zu allen Zeiten gegeben. Sehr häufig hat ein Materialwechsel stattgefunden, der sich nicht am Bestehenden orientierte. So treffen wir Reparaturen, Ergänzungen und erneuerte Bauteile an, die an Stelle der angetroffenen Quadersteine etwa mit Bruchstein oder Ziegel ausgeführt wurden. Da

jedes Baumaterial unterschiedliche Parameter aufweist, könnte man daraus schlussfolgern, dass die verantwortlichen Baumeister uns ein Flickwerk hinterlassen haben und deshalb für alle heute auftretenden bauphysikalischen Probleme verantwortlich sind. Als Bindeglied zur Verarbeitung unterschiedlicher Baumaterialien stand bis zur Zementproduktion im 19. Jahrhundert nur Kalk, Gips und Sand zur Verfügung. Historisches Mauergefüge, Reparaturen und Ergänzungen kamen, der Bautradition folgend, mit Kalkmörtel zur Ausführung. Bei zweischaligen oder Vollmauerwerken bestehen die Fugen aus Kalk und Sand, je nach Bautradition gegebenenfalls noch mit Zuschlägen von Ziegelsplitt. Die Deckschichten im Außenbereich bestanden aus vergleichbaren Mischungen wie der Fugenmörtel, während im Innern neben den Kalkmörteln noch Gips als Zuschlag anzutreffen ist.

Während die genannten Baustoffe ab dem Mittelalter für Kirchen, Burgen und Schlossbauten zur Anwendung kamen, sind Profanbauten vom 13. Jahrhundert an im städtischen wie ländlichen Bereich als Fachwerkbauten anzutreffen. Da Holzkonstruktionen je nach Querschnitt einen anderen Dämmwert haben als Mauerwerk, sind die Gefache mit Flechtwerk aus Weidenruten und beidseitigem Lehm-Strohverstrich verfüllt worden. Als Deckschicht erhielten die Gefache innen wie außen holzbündig einen Kalkmörtelverstrich oder eine Kalk-Sandschlemme. Damit konnte für die Gefache ein vergleichbarer, dem Holzquerschnitt entsprechender Dämmwert erreicht werden. Diese wohldurchdachte Bauweise ist bauphysikalisch mit anderen Werkstoffen im Fachwerkbau nicht zu erreichen, was erst in jüngster Zeit erkannt wurde, nachdem im 20. Jahrhundert durch Unkenntnis ein Großteil der Fachwerkbauten skelettiert worden ist (Abb. 2).

Die hier nur kurz angesprochenen traditionellen Bautechniken decken keinesfalls das gesamte Spektrum unseres kulturellen Erbes ab.¹ Die Kenntnis historischer Bautechniken und Baugefüge mit den verwendeten Materialien sind Grundvoraussetzung zur Beurteilung bauphysikalischer Abläufe. Hinzu kommen die sensiblen Oberflächen unterschiedlichster Art an baugebundenen Ausstattungen. Werden – wie seit dem 19. Jahrhundert – neue Baustoffe verwendet und technische Einrichtungen hinzugefügt, die nicht auf den Bestand abgestimmt sind, kann ein Kulturdenkmal mit seiner Ausstattung sehr schnell aus dem bis dahin gewährleisteten Gleichgewicht geraten, wie dies an einer Vielzahl von Objekten nachzuweisen ist.

Zu den technischen Zutaten, die es vorher nicht gegeben hat, gehören alle Einrichtungen, die den gesamten Rauminhalt beheizen. Die Installation solcher Anlagen ist mit Eingriffen im Bodenniveau verbunden, bei denen vielfach nicht nur originale Bodenbeläge, sondern auch wertvolle archäologische Funde von Vorgängerbauten zerstört werden.

Die heutigen technischen Möglichkeiten mögen zwar dem Wohlbefinden der kurzzeitig Anwesenden dienen, nehmen aber selten Rücksicht auf den historischen Bestand mit seiner

¹ Vgl. auch Klaus KÖNNER, Joachim WAGENBLAST (Hg.), „Steh fest mein Haus im Weltgebrauch“. Denkmalpflege – Konzeption und Umsetzung, Aalen 1998



Abb. 1. Kisslegg, Kath. Pfarrkirche: Verschmutzung durch ein ungesteuertes Umluftheizsystem.

immensen Materialvielfalt. Die Folgeschäden durch Materialveränderung, sowohl an der Ausstattung als auch an baugebundenen Decken- und Wandmalereien, Dekorationen und plastischen Schmuckteilen werden von den planenden Ingenieuren in ihrer gesamten Tragweite oft nicht erkannt, weil ihnen das unterschiedliche Materialgefüge nicht bekannt ist. So reagieren Trägermaterialien aus Holz auf Klimaschwankungen mit einer Verringerung der Holzfeuchte nicht sofort, sondern zeitlich versetzt, so dass auftretende Schäden erst nach Tagen am Kunstwerk erkennbar werden (Abb. 3, 4).

Organische Werkstoffe wie Holz, tierischer Leim, Pergament, Papier und andere sind hygroskopisch, sie haben stets eine gewisse Menge Wasser gebunden, die mit dem in der Luft vorhandenen Wasserdampf im Gleichgewicht steht. Wird die Luft in einem Innenraum – z. B. durch eine Beheizung – trockener, so gibt das Material Feuchtigkeit ab und schwindet, wie es sich umgekehrt ausdehnt, wenn die Luftfeuchtigkeit ansteigt. Diese Dimensionsveränderungen hygroskopischer Werkstoffe, wie sie bei Kirchengesamtheiten aus Holz vorliegen, sind die Hauptursache für Klimaschäden verschiedenster Art. Im trockenen Klima mit Temperaturen von über 14° beginnt in einem Kirchenraum dessen Luftfeuchtigkeit je nach Raumvolumen rasant abzunehmen. Fällt die relative Luftfeuchte unter einen Wert von 55%, geraten die Ausstattungen in eine kritische Phase und beginnen zu schwinden. Holz und anderes organische Material verändert sein Volumen (Abb. 5). Die Verkleinerung der Holzoberfläche bewirkt bei Altären, Tafelbildern oder bei gefassten Skulpturen, dass Mal- und Fassungsschichten mit den Grundierungsschichten aufstehen und abfallen. Risse entstehen, Zierteile verformen sich, bei furnierten Intarsien und Einlagen kommt es zu Absprengungen. Auch textile Bildträger reagieren bei Luftfeuchtigkeitswechsel mit Bewegungen und Spannungen, es kommt zu Verformungen oder zu Rissbildungen bei den Leinwandgemälden (Abb. 6).

Bei zu hoher Luftfeuchte, bei Werten über 80%, wie sie bei Kirchenräumen nicht selten anzutreffen sind, ergeben sich gute Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen und Pilze verschiedenster Art (Abb. 7, 9).

Abb. 2. Böblingen, Marktplatz 21, Fachwerkbau: Entfernung sämtlicher bauzeitlicher Ausfachungen aus Weidenrutengeflecht und Lehm.

Auch bei geplanten technischen Erneuerungen oder Verbesserungen ist die Vielfalt der historischen Materialien selten im Blickfeld der Planungen. Sie setzt eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von allen Beteiligten zu Planungsbeginn und eine ausreichende Objektkennntnis voraus. Voneinander unabhängige Einzelgutachten aus den verschiedenen Fachbereichen können kaum die individuellen Anforderungen und Gegebenheiten der Objekte berücksichtigen, da nur im Zusammenspiel der Disziplinen eine Vernetzung aller Informationen möglich ist. So wie jedes Kulturdenkmal mit seiner Ausstattung individuell entstanden ist, sollten im Vorfeld der Planung ausgehend von der Bestandsanalyse alle Erhaltungs- und Veränderungsmaßnahmen mit erfasst sein.

Gerade im technischen Bereich (Statik, Heizung, Bauphysik) ist ein Formeldenken ohne Kenntnisse historischer Techniken eher kontraproduktiv. Vielmehr müssen die technischen Lösungen auf den oft über Jahrhunderte gealterten Bestand abgestimmt werden (Abb. 11).

Wenig beachtet wird dabei auch die Materialvielfalt von historischen Bauten und deren Ausstattungen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen haben unsere Kulturdenkmäler zudem vielfältige Oberflächengestaltungen erfahren, die neben den Trägermaterialien wie Stein, Ziegel, Mörtel, Stuck und Holz auch weitere, sensible Materialgefüge wie Malereien und Fassungen auf Kreidegülden, Papier, Pergament, Textil, Leder oder Metall enthalten, um nur einige zu nennen.

Ausgehend von dieser Materialvielfalt und deren Verhalten auf unsere zeitgemäßen technischen Zutaten wie Licht, Wärme, Isolierung und Abdichtung ergibt sich ein Spannungsfeld, welches dem Erhaltungswillen zuwiderläuft, wenn nicht im Vorfeld





Abb. 3. Schwäbisch Hall, St. Michael, Epitaph, Ausschnitt: Beispiel für eine zu geringe Holzfeuchte, die zum Schwinden des Trägers und zur Abstoßung der Malschicht führte.

Abb. 4. Stuttgart-Mühlhausen, St. Veit, Hochaltar, Detail: Beispiel für erhebliche Fassungsschäden an den gotischen Altären und Skulpturen durch Überheizen des Kirchenraums.

Abb. 5. Stuttgart-Mühlhausen, St. Veit, Hochaltar, Detail: Fehlstellen durch bereits abgeplatzte Fassungsschichten nach andauernder Überheizung des Kirchenraums.

Abb. 6. Schwäbisch Hall, St. Michael, Leinwandbilder: Verformung des Leinwandträgers durch ungünstige Klimabedingungen und Aufhängung der Gemälde ohne Rückseitenschutz an einer Außenwand.

einer Planung auf diesen Umstand und die Empfindlichkeit der einzelnen Materialien Rücksicht genommen wird. Weiterhin sind die gestiegenen Immissionen mit in ein Erhaltungskonzept einzubeziehen. Das Wissen um die Empfindlichkeit von historischen Oberflächen und deren Materialgefüge darf nicht nur dem heute wissenschaftlich tätigen Restaurator vorbehalten sein, sondern muss verstärkt im Bewusstsein der planenden Architekten und der technisch ausgerichteten Fachdisziplinen verankert werden. Die denkmalpflegerische Aufgabe liegt darin, das Fachwissen im Dienste der Erhaltung der Objekte zu bündeln.

Klimatische Schwankungen im Innenraum sind abhängig von der Bauweise, den verwendeten Baumaterialien und den Mauerstärken. Weiterhin wird das Innenraumklima durch Deckenkonstruktionen verschiedenster Bauarten mit beeinflusst, wenn die verbauten Materialien keine ausreichenden Dämmwerte aufweisen. Die frühen mittelalterlichen Bauwerke waren mit kleineren Fenstern ausgestattet als die späteren, die ab der Gotik auch große, in der Regel bemalte Glasflächen kannten. Jahreszeitlich bedingte Temperaturschwankungen beeinflussten, wenn auch zeitversetzt, das Klima im Innenraum. Da keine künstlichen Temperierungen stattfanden, konnten der Baukörper und die Ausstattung diese Schwankungen in der Regel kompensieren. Am Bau selbst sind über Jahrhunderte kaum Schäden

² Siehe Helmut F. REICHWALD, Die Sylvesterkapelle in Goldbach am Bodensee. Bestand – Restaurierungsgeschichte – Maßnahmen – Technologie, in: Wandmalerei des frühen Mittelalters, hg. von Matthias EXNER (ICOMOS-Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXIII), München 1998, S. 191–218.



4 △



5 △

6 ▽



durch Klimaschwankungen nachzuweisen. Wäre dem nicht so, dürften sich in keinem historischen Gebäude noch bauzeitliche Mörtel oder baugebundene Ausstattungen mit ihren historischen Oberflächen erhalten haben.

Aufsteigende Feuchtigkeit oder Wassereinbrüche durch undichte Dächer sind zwar an allen Gebäuden anzutreffen, derartige Schäden haben aber eher aufgrund unsachgemäßer Reparaturen und falscher Materialanwendungen den Bestand weiter gefährdet.

Ein ernst zu nehmendes Problem ist jedoch die Wasserführung und Ableitung von Regen- und Schmelzwasser an historischen Gebäuden. Abgesehen von verschiedentlich handwerklich unzureichenden Bewehrungen oder kritischen Anbindungen von Mauerwerk und Dachdeckung, wurde von Seiten der Denkmalpflege die notwendige Verteilung mehrerer Fallrohre an historischen Gebäuden vormals als nicht denkmalverträglich angesehen oder abgelehnt. In Einzelfällen hat die Denkmalpflege über Jahrzehnte die Anbringung von Dachrinnen und Fallrohren an einzelnen Kulturdenkmalen gänzlich untersagt.

Am Beispiel der Sylvesterkapelle in Goldbach bei Überlingen hat eine solche Entscheidung bis Ende der 1980er Jahre zu einer Durchfeuchtung des Mauerwerks im Innen- und Außenbereich bis zu einer Höhe von ca. drei Metern und zu Verlusten noch vorhandener historischer Mörtel sowie zur Algenbildung im Innenraum geführt.² Mit der 1990 begonnenen Instandsetzung wurden auf Veranlassung der Restaurierungswerkstatt des Landesdenkmalamtes „provisorisch“, Dachrinnen und Fallrohre installiert. Dadurch konnte die durch Spritzwasser verursachte Durchfeuchtung des aufgehenden Mauerwerks verhindert werden. Nach einem Jahr zeigte sich im Innenraum eine merk-



Abb. 7. Blaubeuren, ehemalige Klosterkirche, Hochaltar, Detail: Schimmelbildung auf einem Tafelbild wegen zu hoher Luftfeuchte im unbeheizten Kirchenraum.

Abb. 8. Reichenau-Oberzell, St. Georg, Nordwand, Die Heilung eines Wassersüchtigen (vgl. Abb. 19), Detail: Arbeitsprobe zur Abnahme des Schimmels im Hintergrund.

liche Abtrocknung der unteren Wandzonen im Innenraum. An den abgenommenen Algenbildungen der Probefelder trat kein erneuter Bewuchs auf. Das „Provisorium“ hat auch heute, nach 15 Jahren, weiterhin Bestand. Nach der Restaurierung der unteren Wandzonen und der darüber liegenden wertvollen Wandmalereien hat es keine weiteren Durchfeuchtungen der unteren Wandzonen mehr gegeben.

Durch Reparaturen der Sockelzonen, die in den meisten Kirchen schon mehrfach durchgeführt wurden, entstehen Problemzonen an den Anbindungsflächen zum historischen Bestand. Um die durchfeuchteten Bereiche zu „stabilisieren“, wurde seit dem 19. Jahrhundert zementgebundener oder reiner Zementmörtel verwendet. Dadurch konnte ein Feuchteausaustausch an der Oberfläche nicht mehr stattfinden. Die Feuchtigkeit wanderte hinter der Sperrschicht weiter nach oben, die dabei mittransportierten Salze lagerten sich in der angrenzenden originalen Mörtelschicht ab und kristallisierten bei entsprechenden Raumtemperaturen aus, was zu weiterer Zerstörung noch intakter Mörtelschichten geführt hat, nicht selten mit Wandmalereien. Die seit längerem entwickelten und angewendeten Sanierputze sind zwar offenporig eingestellt, setzen sich aber durch Salzablagerungen mit der Zeit zu und führen dann zu vergleichbaren Schäden. Soweit die Denkmalpflege solche Reparaturen beeinflussen konnte, werden anstehende Maßnahmen seit Jahren wieder in der historischen Kalktechnik ausgeführt. An vielen Objekten hat sich gezeigt, dass es auch nach einem längeren Zeitraum nur zu partiellen Schäden gekommen ist. Viel wichtiger ist in diesem Zusammenhang ein Gleichgewicht der Materialgefüge von Altbestand und neuer Zutat herzustellen, das auf klimatische Einflüsse vergleichbar reagieren kann.

Ein weiteres Kapitel betrifft die Raumschale, die über Jahrhunderte in Kalktechnik gefasst, dekoriert oder bemalt wurde. Mit den Kalkmörteln bildeten diese Fassungen eine homogene Oberfläche, die über lange Zeiträume jeder Klimaschwankung standhielt. Feuchtigkeit wurde aufgenommen und konnte problemlos nach einer gewissen Zeit wieder verdunsten. Das Materialgefüge war offenporig und in der Lage solchen Wechselwir-



Abb. 9. Birnau, Klosterkirche, Deckengemälde, Detail: Besiedelung von Mikroorganismen auf einem mit Magermilch fixierten Fresko, nachdem hoher Besucherandrang und offen stehende Türen eine permanent zu hohe Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum verursachen.

kungen standzuhalten. Mit der Beschichtung moderner Werkstoffe auf historischen Oberflächen war der Feuchteausaustausch nicht mehr gegeben. Bei ungünstigen klimatischen Bedingungen – und diese sind in nur zeitweise beheizten Räumen immer anzutreffen –, kommt es zur Kondensatbildung auf den Oberflächen. Die Verdunstung dieser Feuchtigkeit schlägt sich im Raum nieder, weil sie schneller erfolgt, als bei offenporigen Untergründen. Ein weiterer Nachteil dieser modernen Werkstoffe ist die schnellere Verschmutzung der Oberflächen gegenüber kalkgebundenen Schichten. Durch Heizung verursachte Luftströmungen im Raum lassen an den kunststoffhaltigen Anstrichen eine elektrostatische Aufladung der Oberflächen entstehen, an denen sich Staubpartikel ablagern. In Verbindung mit der Kondensatbildung werden diese Ablagerungen an der Oberfläche mit der Zeit gebunden und bewirken eine schnelle Verschmutzung der Raumschale. Die heute aus Kostengründen vielfach angestrebten Reinigungen einer Raumschale lassen sich an Objekten mit einer kalkgebundenen Oberfläche meist problemlos durchführen (Abb. 10). Dagegen lässt sich an kunststoffgebundenen Fassungen selten ein verwertbares Reinigungsergebnis erzielen.

Ein weiterer, mit hohen Kosten verbundener Nachteil ist die Schwierigkeit der Abnahme solcher Beschichtungen, weil diese in den meisten Fällen chemisch erfolgen muss. Je nach Mörtelbeschaffenheit sind Abnahmen dieser Beschichtungen auch dringend erforderlich, weil das Materialgefüge unter der Sperrschicht erstickt.

In Baden-Württemberg gibt es noch wenige Objekte, die eine bauzeitliche oder eine nach einer frühen Bauveränderung entstandene Raumschale und Ausmalung aufweisen. Ganz unberührt ist keine dieser Kirchen, aber die partiellen Eingriffe beschränken sich auf Bereiche, die bei den restauratorischen Untersuchungen lokalisiert werden konnten.

Die evangelische Stadtkirche St. Peter und Paul in **Weilheim/Teck**, 1489 von Baumeister Peter von Koblenz begonnen, hatte im Langhaus zunächst eine Flachdecke. Um 1520 erhielt das

Langhaus ein Netzgewölbe mit floraler Bemalung und farbiger Fassung der Steinrippen (Abb. 13). Die Chorwand ist mit einem Jüngsten Gericht bemalt, über dem Zugang an der Nordwand entstand 1523 ein großes Rosenkranzbild. Weitere Ausmalungen mit Rollwerkrahmungen an der Nord- und Südwand, sowie an den Fenstern und Zugängen kamen im späten 16. Jahrhundert hinzu. Emporen aus dem 16. und 17. Jahrhundert, deren Brüstungen bemalt, marmoriert und betextet sind, befinden sich an der Südwand und im östlichen Teil an der Nordwand. Die Westempore wurde im 18. Jahrhundert erneuert, sie erhielt eine Weißfassung mit einer Vergoldung der Zierteile. Der Kanzelcorpus mit den vier Evangelisten und dem geschwungenen, reich verzierte Treppenaufgang bestehen aus Sandstein mit einer farbigen Fassung aus der Umbauphase um 1520. Der Kanzeldeckel von 1616 ist in den 1970 Jahren konzeptlos neu gefasst worden.

Bis zum 18. Jahrhundert muß der Innenraum in seinem gewachsenen Zustand ohne ganzheitliche Renovierung bestanden haben. Eine Jahreszahl von 1604 im Gewölbe bezieht sich auf eine Reparatur, die auch das Rosenkranzbild betroffen hat, indem hier statisch bedingte Risse gekittet und retuschiert wurden. Mit der Erneuerung der Westempore im 18. Jahrhundert sind die unbemalten Wandflächen weiß getüncht worden. Im 19. Jahrhundert hat man die Malereien an der Chorwand und das Rollwerk an den Fenstern und den Zugängen zugetüncht und 1921 wieder freigelegt und restauriert.

Als Anfang der 1980 Jahre eine Renovierung im Schiff anstand, der Chor war leider Mitte der 1970er Jahre – wie damals üblich – rekonstruiert worden, konnte noch vor der Gesamtplanung



△ Abb. 11. Erbach, St. Martin, Stuckausstattung, Detail: aufstehende Polierweißfassung in einer nur gelegentlich beheizten Kirche.

◁ Abb. 10. Biberach, St. Martin, Trockenreinigung einer Kalkfassung, Reinigungsmuster.

eine Teiluntersuchung im Gewölbe und an den Malereien durchgeführt werden. Dabei stellte sich heraus, dass die Malereien und die Fassung im Gewölbe, bis auf die Reparaturen von 1604 noch den Bestand um 1523 zeigten. Auch am Rosenkranzbild war die Malerei von 1523 (im oberen Bildteil datiert) bis auf die Rissreparatur von 1604 und eine punktuelle Risskittung, wohl von 1921, komplett erhalten. Nach weiteren Untersuchungen des gesamten Malereibestandes im Schiff einschließlich der Emporen wurde eine Konservierung des angetroffenen Zustands beschlossen (Abb. 12). Lediglich die weißen Wandflächen und die Stützpfeiler erhielten eine Neufassung. Die bereits mehrfach erneuerten Mörtel der Sockelzone wurden ausgewechselt und durch einen Kalkmörtel mit gemahlten Tuffzuschlägen ersetzt.

Im Kirchenschiff bestand eine Umluftheizung mit wenigen Warmluftaustritten, die über Jahrzehnte eine Verschmutzung der Oberflächen bewirkt sowie Schäden an der Orgel von Andreas Goll (1795) verursacht hatte. Im Zusammenhang mit der geplanten Instandsetzung war auch eine Veränderung der bestehenden Heizung vorgesehen. Das 1921 eingebaute Bankgestühl sollte auf Wunsch der Kirchengemeinde durch eine lose Bestuhlung ersetzt werden. Dies verlangte eine Neukonzeption der gesamten Heizungsanlage. Seinerzeit wurde eine gesteuerte Fußboden-Warmluftheizung konzipiert, die entlang der Außenwände durch Schlitze warme Luft mit einer Temperatur von 25° abgibt. Um größere Klimaschwankungen zu vermeiden, war schon bei der Planung eine Grundtemperierung von 9° in der kalten Jahreszeit vorgesehen, die bei der Nutzung des Kirchenraums auf 12° angehoben wird. Um das Klima zu stabilisieren, erhielten die Kirchenfenster eine Doppelverglasung, das Gewölbe wurde mit Mineralfasermatten und einem Holzboden vom Dachraum isoliert.

Im Zusammenhang mit den klimatischen Gegebenheiten in diesem Kirchenraum konnte der zum Teil seit der Entstehung freiliegende Malerei- und Fassungsbestand auf entstandene Schäden untersucht werden. Da es keinerlei Messdaten und Aufzeichnungen der vorhandenen Umluftheizung gab, war eine Beurteilung des Schadensverlaufs an Malerei und Ausstattung

nicht möglich. Die elektronische Messtechnik war Anfang der 1980er-Jahre für denkmalpflegerische Fragestellungen noch nicht ausgereift, zu diesem Zeitpunkt mussten noch empirische Versuche bestimmte Abläufe z. B. der durch Heizung verursachten Turbulenzen mit anderen Mitteln erfasst bzw. verdeutlicht werden. Ein Ingenieurbüro aus Stuttgart hat sich damals dieses Problems angenommen und Versuche im Kirchenraum durchgeführt. Verschiedene mit Luft und Luft-Treibgasgemisch gefüllte Luftballons wurden im Raum verteilt, danach die Heizung eingeschaltet. Die mit Gemischen gefüllten Ballons schwebten anfänglich ca. 150cm über dem Boden, die nur mit Luft gefüllten hatten sich von der Bodenebene nicht entfernt. Nach ca. 30 Minuten begannen die schon in der Luft befindlichen Ballons mit zunehmender Wärmeentwicklung sich nach oben zu bewegen, die am Boden liegenden zeigten nur leichte Bewegungen ohne aufzusteigen. Nach 30 Minuten hatten die aufgestiegenen Ballons das Gewölbe erreicht. Jetzt konnten im Minutentakt heftige Bewegungen der Ballons unter dem Gewölbe beobachtet werden, bei denen die Ballons Sprünge bis zu einem Meter vollführten. Zu diesem Zeitpunkt begannen sich auch die bis dahin am Boden liegenden Ballons durch abfallende, warme Luftströmungen zu bewegen und unruhig aufzusteigen. Nach einer Viertelstunde hatten auch diese Ballons das Gewölbe erreicht. Während die mit Gemischen gefüllten Ballons sich weiterhin im Gewölbe hektisch bewegten, wurden die mit Luft gefüllten in den Wandbereichen zur Bodenzone gezogen und stiegen in der Raummitte langsam wieder auf. Mit zunehmender Wärmeentwicklung nach ca. drei Stunden verlangsamten sich die Turbulenzen, die mit Luft gefüllten

Ballons fielen langsam zu Boden, die anderen blieben mit wippenden Bewegungen am Gewölbe. Die Raumtemperatur in der Gewölbezone betrug ca. 28°, im Bankbereich ca. 18°. Diese, noch ohne Messsonden durchgeführten Versuche vor 25 Jahren haben gezeigt, welche kurzfristigen klimatischen Veränderungen historische Innenräume mit ihren Ausstattungen ausgesetzt sind, wenn diese durch technisch unausgereifte Heizungssysteme belastet werden.

In den letzten Jahren hat die Nutzung größerer Kircheninnenräume für Konzertveranstaltungen oder andere Events drastisch zugenommen. Mit diesen Mehzzweckveranstaltungen in historischen Innenräumen treten kurzfristig hohe Belastungen für das Bauwerk und seiner Ausstattung auf, die zu erheblichen Schädigungen führen.

Mit der Verbesserung der technischen Möglichkeiten und Steuerungssysteme hat man in den letzten Jahren versucht, ein verträgliches Klima für Bau und Ausstattung zu schaffen. In Abstimmung mit den kirchlichen Eigentümern und Nutzern sind in Baden-Württemberg Obergrenzen zur Temperierung der Innenräume festgelegt worden, die bei max. 14° als Höchstgrenze liegen. Je nach Ausstattung wird die Obergrenze auf 12° zurückgenommen und die Temperierung während der kalten Jahreszeit (Oktober bis Ende April) mit einer Grundtemperatur von 9° ständig gehalten. Dies ist bei Heizsystemen möglich, die als Raumheizung ausgelegt sind, indem die Temperaturen durch Messungen in verschiedenen Raumhöhen und gezielte Steuerungen ein ausgewogenes Raumklima bewirken. Durch eine ständige Grundtemperatur von 9° wird ein Auskühlen des Bauwerks verhindert, die relative Luftfeuchtigkeit pendelt sich in der Regel auf einen für Kunstwerke verträglichen Sättigungsgrad ein.

Bei einer Nutzung des Kirchenraums wird die Temperatur über mehrere Stunden an kalten Tagen langsam auf 12° angehoben. In der Übergangszeit, wenn das Bauwerk noch genügend Energie gespeichert hat, reichen kürzere Erwärmungszeiten. Wegen der in der Vergangenheit aufgetretenen erheblichen Schäden an Ausstattung und Raumschale der Kirchen sind weitere Temperiersysteme mit dem Ziel entwickelt worden, hohe Temperaturen zu verhindern. Geschlossene Bankstrahler mit eingebauten Sensoren zur Wärmesteuerung oder Wärmeschleifen im unteren Wandbereich, um nur einige zu nennen, reichen für eine kurzzeitige Nutzung aus, ohne das sensible Materialgefüge zu gefährden.³

Der eingeschlagene Weg zur Verbesserung der klimatischen Bedingungen in historischen Räumen ist noch lange nicht abgeschlossen. Bisher gelingt es nur bei anstehenden Instandsetzungen bestehende Heizsysteme zu verändern und Niedrigtemperaturen durchzusetzen. Werden neue Anlagen nach den Vorgaben eines begrenzten Wärmebedarfs geplant und nicht nach DIN-Normen, könnte eine Schädigung an dem kulturellen Erbe auf ein Minimum begrenzt werden.

Die zuvor angesprochene vermehrte Nutzung von Kirchenräumen für Konzertveranstaltungen kann kurzfristig oder über einen längeren Zeitraum zu erheblichen Schäden und Verlusten an bedeutenden Ausstattungen führen.



Abb. 12. Weilheim/Teck, St. Peter und Paul, Rosenkranzbild, Detail: seit 1523 lediglich partielle Reparaturen.



Abb. 13. Weilheim/Teck, St. Peter und Paul, Raumausstattung: Fassungen weitgehend von 1523; Temperierung auf 8°C, bei Gottesdiensten langsame Anhebung auf 12°–14°C.

Als erstes Beispiel einer „konzertanten“ Substanzerstörung sei hier die gemalte und gefasste Gesamtausstattung von St. Dionys in **Esslingen** anzuführen. Der 1604 geschaffene Hochaltar gehört zu den letzten Wandelaltären und ersten nachreformatorischen Hochaltären im süddeutschen Raum. Nach einer eingehenden Untersuchung 1979 erfolgte ab 1980 unter Leitung der Restaurierungswerkstätten des Landesdenkmalamts mit Praktikanten aus den freien Werkstätten eine Musterrestaurierung, um zukünftige Qualitätsmaßstäbe für Baden-Württemberg festzulegen. Anlass waren unsachgemäße Freilegungsproben an dem Altar durch einen unqualifizierten Restaurator (Abb.14).⁴ Die Gesamtmaßnahme wurde sehr detailliert und umfangreich dokumentiert. Nach der Fertigstellung 1983 erfolgten alle zwei Jahre Wartungen, weil mit der Restaurierung die Temperierung im Raum auf ein konstantes Klima von 12° eingestellt und nur bis zu 14° angehoben werden konnte. Bis 1998 gab es keinerlei Veränderungen an den Mal- und Fassungsschichten, lediglich zweimal sind in den 15 Jahren nach Fertigstellung die Oberflächen abgestaubt worden. Am 7. Januar 1998 fand unter höchst

prominenter Leitung ein Konzert in der Kirche statt. Am Tag zuvor wurde von dem Dirigenten und dem Orchester die Raumtemperatur von 14° bemängelt. Da jedoch die Heizungsanlage vor Fremdzugriff und unkontrollierter Steuerung abgesichert war, ließ sich die Raumtemperatur nicht erhöhen. Ein Energieversorgungsunternehmen war Sponsor dieser Veranstaltung und sorgte am Tag vor der Aufführung kurzerhand für Abhilfe. Mit mehreren Elektrogeneratoren ist der Kirchenraum in kürzester Zeit auf eine Raumtemperatur von über 35° aufgeheizt und während des Konzerts auch gehalten worden. Augenzeugen berichteten hinterher, dass Besucher sich ihrer Mäntel und Jacken entledigt hatten. Der Kirchenraum hatte an jenem Tag jeden Wohnzimmerstandard weit überschritten. In den folgenden Tagen hat es im Kirchenraum ein akustisches Nachbeben gegeben. An allen hölzernen Ausstattungen entstanden Risse (Abb. 15). Am Hochaltar standen innerhalb einer Woche Mal- und Fassungsschichten auf, die notgesichert werden mussten. Die nachfolgenden Sicherungsarbeiten beliefen sich auf 85.000,- DM. Seit dieser Zeit ist das Materialgefüge gestört, es lösen sich immer wieder Farbschollen vom Untergrund.

An der Orgel sind alle hölzernen Teile geschwunden. Hölzerne Pfeifen wiesen erhebliche Schwundrisse auf, das Instrument war ab dieser Zeit nicht mehr bespielbar. Das Orgelgehäuse zeigte erhebliche Fassungsverluste, der Boden auf der Empore war übersät von abgefallenen Fassungsschichten. An der Orgel entstand ein Schaden von über 1 Million DM. Der massive Eingriff in das Klima anlässlich des Konzertes erfolgte seinerzeit ohne Wissen der Kirchengemeinde.

³ Zu verschiedenen Temperiersystemen vgl. Claus ARENDT, Raumklima in großen historischen Räumen. Heizungsart, Heizungsweise, Schadensentwicklung, Schadensverhinderung“, Köln 1993.

⁴ Vgl. Helmut F. REICHWALD, Grundlagen wissenschaftlicher Konservierungs- und Restaurierungskonzepte – Hinweise für die Praxis, in: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz (Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz 16), Stuttgart 1982, S. 17–35, zu St. Dionys S. 27f.



Abb. 14. Esslingen, St. Dionys, Hochaltar von 1604; Zustand nach der Restaurierung von 1983.

Als zweites Beispiel einer längerfristigen Schädigung hölzerner Ausstattungen mit Malerei und Fassung war in der Kirche St. Michael in **Schwäbisch Hall** entstanden. Ebenso wie in Esslingen finden in St. Michael regelmäßig Konzerte statt. Auch hier wurde der Kirchenraum bei diesen Veranstaltungen mit erhöhten Temperaturen erwärmt. Nicht gerade so unverantwortlich wie in Esslingen, aber die Praxis, über mehrere Jahre den Kirchenraum zu diesen Veranstaltungen auf über 18° zu erwärmen, reichte aus, an der hölzernen Ausstattung einen Restaurierungsaufwand von über 1,5 Mio. DM zu bewirken. In einer mobilen Werkstatt im Chor der Kirche sind die 67 Ausstattungsstücke wie Altäre, Epitaphien, Tafelbilder und Skulpturen von frei-

⁵ Ulrich GRÄF, Jochen ANSEL, Hans Werner HÖNES, Die Restaurierungsarbeiten in der Michaelskirche Schwäbisch Hall, Schwäbisch Hall 2000.

⁶ Firma Infera, Veringenstadt, Heizplatten-Stecksystem – Fußwärmepplatten.

⁷ Zu Bau und Restaurierungsgeschichte siehe Dörthe JAKOBS, Sankt Georg in Reichenau-Oberzell. Der Bau und seine Ausstattung (Forschungen und Berichte der Bau- und Kunstdenkmalfpflege in Baden-Württemberg 9), Stuttgart 1999; zur Restaurierungsgeschichte: Dörthe JAKOBS, Restaurierungskonzepte für die Wandmalereien von St. Georg in Reichenau-Oberzell, in: Die Restaurierung der Restaurierung? Zum Umgang mit Wandmalereien und Architekturfassungen des Mittelalters im 19. und 20. Jahrhundert, hg. von Matthias EXNER und Ursula SCHÄDLER-SAUB (ICOMOS-Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXXVII), München 2002, S. 39–48.

⁸ Helmut F. REICHWALD, Denkmalverschleiß durch Massentourismus? Welterbestätte Reichenau, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 3, 2003, S. 252–257.

schaffenden Restauratoren in 4 Jahren gesichert und restauriert worden (Abb. 16, 17).⁵ Der umfangreiche Restaurierungsaufwand machte auch eine Überholung der Heizungsanlage zur Bedingung, mit der Auflage, die Raumtemperatur zukünftig auf max. 15° zu begrenzen. Zusätzlich ist an den Austrittsschächten der Warmluft eine Befeuchtungsvorrichtung eingebaut worden. Mit diesen Verbesserungen konnte das Klima im Raum in den vergangenen Jahren stabilisiert werden. Durch Wartungen wird der Bestand weiter überprüft.

Abgesehen von Konzertveranstaltungen gibt es eine weitere Variante, die historische Innenräume nicht minder belastet. Die alljährlich ausgestrahlten Neujahrskonzerte im Fernsehen werden im Wechsel in verschiedenen bedeutenden Kirchenräumen aufgenommen. Da es sich nicht um Livekonzerte handelt, sondern um Konserven, die zuvor im November produziert werden und mit Proben mehrere Tage dauern, wird von den Veranstaltern ein erhöhter Wärmebedarf für das Orchester angefordert. Die damit für Raum und Ausstattung verbundenen Strapazen müssen hier nicht weiter geschildert werden. Die Amtswerkstätte in Baden-Württemberg ist in den vergangenen Jahren zwar immer zur Begutachtung der Raumsituation und der möglichen Temperierung herangezogen worden, die Auflagen waren immer die gleichen – keine höhere Raumtemperatur als zum kirchlichen Gebrauch üblich. Begrenzt durften am Standort des Orchesters kurzzeitig Warmlüfter eingesetzt werden. Da dies auf Dauer keine Lösung war und bei Abwesenheit mitunter auch nicht konsequent eingehalten wurde, musste nach einer dauerhaften und praktikablen Lösung gesucht werden. Auf dem

Abb. 15. Esslingen, St. Dionys, Hochaltar, Detail: Nach einer Aufheizung des Kirchenraums auf über 35° sind an der Ausstattung Schäden in Millionenhöhe entstanden.



Markt gab es schon seit Jahren elektrisch betriebene Heizteppiche, die jedoch bei größeren Flächen nach der Benutzung ein Lagerproblem sind und im Kirchenraum kaum unterzubringen waren. Auch waren die Kirchengemeinden nicht bereit bzw. auch finanziell nicht in der Lage, in solche Anschaffungen zu investieren. Nach intensiven Diskussionen mit einem Heizungsingenieur wurde dieser beauftragt, nach einer praktikablen Lösung zu suchen. Als wieder Konzertaufnahmen des Fernsehens, diesmal in der ehemaligen Klosterkirche Zwiefalten mit einer materialvielfältigen Ausstattung anstanden, konnte erstmals eine Lösung angeboten werden, die den denkmalpflegerischen und konzertanten Anforderungen entsprach und gleichzeitig Lagerung und Transport vereinfachte. Die Lösung war ein aus mehreren Elementen bestehendes Baukastensystem gleicher Heizplattengröße, die zusammengesteckt sich über eine Steckdose erwärmen lassen.⁶ Damit konnte in Zwiefalten im Vierungsbereich eine Plattenfläche von 14 x 18 m temperiert werden. Die Oberflächentemperatur ist auf max. 28° regelbar. Auch bei längerer Benutzung führte die temperierte Fläche zu keinerlei Luftturbulenzen im Raum. Die Oberfläche der Heizplatten ist rutschfest beschichtet und trägt 2cm auf. Nach den Konzertaufnahmen waren sowohl die Musiker wie auch die Verantwortlichen des Fernsehens von dem System überzeugt. Das Fernsehen hat anschließend die Anlage erworben und benutzt diese seit 6 Jahren in historischen Innenräumen für Konzerte in der kalten Jahreszeit.

Die auf der ICOMOS-Tagung auf der Reichenau im November 2004 mehrfach angesprochene Entwicklung im Bereich der

Abb. 16. Schwäbisch Hall, St. Michael, Skulpturen mit Fassungsschäden durch ständige Luftfeuchtewechsel aufgrund ungesteuerter Beheizung: Zustand der Notsicherung.



Abb. 17. Schwäbisch Hall, St. Michael, erhebliche Schäden an der gesamten Ausstattung durch ständige Luftfeuchtewechsel aufgrund ungesteuerter Beheizung.

Messtechnik und Datenaufzeichnung läßt hoffen, zukünftig den Klimaverlauf in einem Kulturdenkmal besser erfassen zu können. Mit gesicherten Daten lassen sich kritische Klimaschwankungen in Innenräumen und deren Ursachen belegen, um entsprechende Maßnahmen gezielter einleiten zu können. Hierzu gehören nicht nur Nachbesserungen an den technischen Anlagen, sondern auch die Reaktion auf Klimaveränderungen, wie beispielsweise das Lüften zum richtigen Zeitpunkt.

Als prominentes Beispiel am Tagungsort der UNESCO-Welterbestätte sei hier abschließend auf die besondere Problematik der St. Georgskirche in Oberzell eingegangen (Abb. 8, 18, 19).⁷

Die Insel Reichenau als Welterbestätte – was und wie viel vermag ein Kulturdenkmal zu verkraften?⁸ Viele Besucher von St. Georg nehmen sich kaum 10 Minuten Zeit für eine Besichtigung. Wer einmal ein Brückenwochenende bei frühlingshaften Temperaturen in Oberzell erlebt hat, beginnt zu ahnen, welchen Strapazen eine bedeutende Kirche wie St. Georg im Laufe eines Jahreszyklus ausgesetzt wird.

Seit Beginn der 1980er Jahre wurden Klimamessungen annähernd ohne Unterbrechungen durchgeführt. 2001 wurde eine elektronische Klima-Messstation auf dem Dachboden von St. Georg installiert, die mit 16 Fühlern an verschiedenen Stellen das Außen- und Innenklima aufzeichnet. Die aus der Decke herabhängenden Kabel mit Messfühlern sind Bestandteil dieser Messstation. Die Klimawerte lassen erkennen, dass die relative Luftfeuchte in St. Georg zu manchen Zeiten extrem hoch ist. Besonders kritisch ist in diesem Zusammenhang vor allem das Frühjahr. Im Frühjahr sind die Gefahren für die Wandmalereien

besonders hoch einzuschätzen. Draußen scheint die Sonne, die Luft ist schon angenehm warm. Warme Luft kann große Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen. Die warme, feuchte Außenluft tritt durch die geöffneten Türen und Fenster ins Kircheninnere und trifft auf die noch winterkalten Wände. Sie kühlt schlagartig ab und gibt ihre Feuchtigkeit als Kondenswasser an die Wände ab.

Beobachtet werden konnte zudem, dass der Anstieg der Temperaturen im Innenraum sich nach der Winterzeit in einer ungewöhnlichen Geschwindigkeit vollzieht. Mitverantwortlich für beide Phänomene ist die steigende Anzahl der Touristen, insbesondere im Frühjahr und damit verbunden die ständig offen stehende Türe, die die warme feuchte Außenluft in den noch kühlen Innenraum transportiert. Durch hohe Besucherzahlen und das häufige Öffnen und Schließen der Türen wird viel Staub aufgewirbelt, der besonders gut an den feuchten Untergründen kleben bleibt und sie verschmutzt. Das feuchte Milieu, vorhandene organische Materialien, Temperaturen und viele andere Parameter begünstigen das Wachstum von Schimmelpilzen auf den Wandmalereien.

Nach den im Abstand von 2–3 Jahren regelmäßig durchgeführten Wartungsintervallen in St. Georg ließen sich Aussagen treffen, in welchen Zeiträumen und Zeitabständen die Verschmutzungen auf den Malereien zugenommen haben, und welches Gefahrenpotential sich im Laufe der Jahre entwickelt hat und den Malereibestand zunehmend gefährdet.

2003 – nur 15 Jahre nach der letzten Restaurierung – war ein Verschmutzungsgrad erreicht, der dem von 1982 entsprach. Immerhin lagen damals über 60 Jahre seit der Restaurierung von 1921/22 dazwischen. Zudem war auf der Nordwand im oberen Teil der Bildszenen (Hintergründe) ein erheblicher Pilzsporenbefall aufgetreten, der seinen Nährboden aus der von Mezger 1921/22 aufgetragenen dünnen kaseingebundenen Übermalung zog und den darunter liegenden Originalbestand gefährdete. Seit den letzten Wartungen 1998 und 2001 konnte ein rasantes flächiges Ausbreiten des Pilzbefalls beobachtet werden. Begünstigt wird dieses Wachstum durch die zu hohe Luftfeuchtigkeit und die Bildung von Kondenswasser auf der Nordwand. Durch den zunehmenden Besucherandrang, der sich im Kirchenraum bewegt und sich nur bei geordneten Führungen längere Zeit in den Bänken aufhält, entwickeln sich Turbulenzen, die ständig Staubpartikel in die bemalten Wandzonen transportieren, wo sich diese ablagern. Verschmutzungen und Feuchtigkeit bilden auf den Malschichten ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenpotential (Abb. 8).

In St. Georg war 2003 ein Zustand erreicht, der eine erneute Einrüstung notwendig machte, um diese Ablagerungen zu entfernen, weil die Gefahr einer Verklebung von Schmutz und Malerei ebenso besteht, wie das Durchwandern der originalen Malschicht durch Pilzmyzele. Die immer kürzer werdenden Restaurierungsintervalle belasten den Malereibestand erheblich. Gleichzeitig wurde in Kooperation mit Bauphysikern und Ingenieuren ein Konzept zur Klimaverbesserung durch eine gesteuerte Be- und Entlüftung erarbeitet. An den Seitenschiff-Fenstern werden Sensoren angebracht, die neben Windgeschwindigkeit im Außenbereich das Innen- und Außenklima messen und in Abhängigkeit von relativer Luftfeuchte und Temperatur für eine automatische Bedienung der Lüftungsflügel sorgen. Öffnungen in der Decke ermöglichen eine thermische Entlüftung. Die bereits im Konzept von 1988 als Klimaschleuse vorgesehene Vorhalle wurde technisch so verbessert, dass

eine automatische Schließung der äußeren Tür erfolgt. Die innere Tür am Übergang zum Schiff (Westapsis) erhielt einen Schließmechanismus.

Diese Maßnahmen mögen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen beitragen. Die großen Besucherströme von Frühjahr bis Herbst werden dennoch ein Problem bleiben. Nach Umsetzung eines Didaktikkonzeptes⁹ im Rahmen der Einrichtung von Informationspavillons besteht die Hoffnung, dass eine verantwortungsbewusste Besucherlenkung durch Führungen in St. Georg realisiert werden kann.

Das sensible bauliche und bauphysikalische Gleichgewicht in historischen Innenräumen mit ihrer Ausstattung ist lange Zeit nicht beachtet worden. Die Nutzungsansprüche waren und sind von dem jeweiligen Zeitgeist geprägt, im Glauben, mit technischer Unterstützung ließen sich alle Anforderungen bewältigen. Solange den Beteiligten nicht die unterschiedliche historische Materialvielfalt und deren Reaktion auf klimatische Schwankungen oder gar Veränderungen bewusst ist, werden weiterhin Kulturdenkmale mit den Nutzungsansprüchen moderner Bauten gleichgesetzt. Erst wenn sich das Schadenspotenzial nicht nur sichtbar, sondern finanziell niederschlägt, beginnt man fachlichen Rat anzunehmen.

Summary

Climatically Caused Damages in Interiors and on Fittings. Case Studies from Baden-Württemberg

Depending on how they are used, cultural monuments and their fittings are subject to the wear and tear of their materials. Age-related damages appear much less frequently than damages that are caused by the environment and by interventions and alterations. Physical influences cause significant alterations in the historic fabric; according to current knowledge they constitute the greatest potential danger to the preservation of our cultural heritage. One of the main sources of damage is the extreme, often short-term stress which the use of churches, palace halls, libraries and other historic rooms places on these buildings.

Current technical possibilities can indeed be employed to serve the well-being of visitors who are present in such buildings for a short time, but they seldom take the historic building fabric with its immense variety of materials into account. Most of the resulting damages to fittings as well as to wall paintings are not immediately recognized in this context because their materials react variously and at different points of time.

The diversity of historic fabric is also seldom the focus of planning for technical renovations or improvements. In fact interdisciplinary cooperation among all project participants is necessary already at the beginning of the planning process, as is adequate knowledge of the building or object itself. Independently prepared consultant reports from various specialized fields are hardly able to take into consideration the specific requirements and conditions that are particular to an individual building. Only through cooperation among all the disciplines is it possible to form a network with all the relevant

⁹ Vgl. den Beitrag von Dagmar Zimdars im vorliegenden Heft.



Abb. 18. Reichenau-Oberzell, St. Georg, Mittelschiff nach Osten (Zustand 1988).

information. Every cultural monument with its fittings was an individual creation; in the same way at the beginning of the planning process all preservation measures and alterations should be preceded by a survey of the individual, as-is condition of the building.

Particularly in the technical fields (structural engineering, heating, building physics) planning according to formulas without historical background is likely to be counterproductive. Rather, technical solutions have to be coordinated with existing historic fabric which has often been aging for centuries.

Likewise, little attention is paid to the diversity of the materials in historic buildings and their fittings. With only a few exceptions our cultural landscape exhibits diverse surface treatments, including not only such building materials as mortar and wood but also sensitive materials such as paper, parchment, textiles, leather and metal, to name only a few.

This diversity of materials and their behavior in relation to modern technological factors (influences of light, heat, air, moisture, insulation, waterproofing, etc.) produces problematic circumstances which run counter to preservation interests if these tensions are not recognized and the sensitivity of the individual materials is not taken into account already at the beginning of the planning process. An understanding of the structure and sensitivity of historic surfaces cannot be reserved for today's scientifically oriented restorer, but rather must be more strongly anchored in the consciousness of project architects and the special technical disciplines. The task of the preservationist is to bundle this expertise in a way that serves preservation of the historic monument.

Using case studies from Baden-Württemberg the technological composition of individual works of art is considered, and climatically caused damages are discussed.



Abb. 19. Reichenau-Oberzell, St. Georg, Nordwand, Die Heilung eines Wassersüchtigen (Zustand 1988).

Literaturverzeichnis

Claus ARENDT, Raumklima in großen historischen Räumen. Heizungsart, Heizungsweise, Schadensentwicklung, Schadensverhinderung“, Köln 1993.

Klaus KÖNNER, Joachim WAGENBLAST (Hg.), „Steh fest mein Haus im Weltgebrauch“. Denkmalpflege – Konzeption und Umsetzung, Aalen 1998.

Helmut F. REICHWALD, Die Sylvesterkapelle in Goldbach am Bodensee. Bestand – Restaurierungsgeschichte – Maßnahmen – Technologie, in: Wandmalerei des frühen Mittelalters, hg. von Matthias EXNER (ICOMOS-Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXIII, München 1998, S. 191–218.

Ulrich GRÄF, Jochen ANSEL, Hans Werner HÖNES, Die Restaurierungsarbeiten in der Michaelskirche Schwäbisch Hall, Schwäbisch Hall 2000.

Dörthe JAKOBS, Sankt Georg in Reichenau-Oberzell. Der Bau und seine Ausstattung (Forschungen und Berichte der Bau- und Kunstdenkmalpflege in Baden-Württemberg 9), Stuttgart 1999.

Dörthe JAKOBS, Restaurierungskonzepte für die Wandmalereien von St. Georg in Reichenau-Oberzell, in: Die Restaurierung der Restaurierung? Zum Umgang mit Wandmalereien und Architekturfassungen des Mittelalters im 19. und 20. Jahrhundert, hg. von Matthias EXNER und Ursula SCHÄDLER-SAUB (ICOMOS-Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXXVII), München 2002, S. 39–48.

Helmut F. REICHWALD, Denkmalverschleiß durch Massentourismus? Welterbestätte Reichenau, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 3, 2003, S. 252–257.

Frederick P. BOODY, Henning GROSSERSCHMIDT, Wolfgang KIPPES, Michael KOTTERER (Hg.), Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 9), Schloss Schönbrunn 2004.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 2, 9, 10, 12, 13, 14 und 15: H. F. Reichwald, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Archiv Landesamt für Denkmalpflege, Fachbereich Restaurierung, Esslingen); Abb. 3–7, 16–17, Jochen Ansel, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Archiv Landesamt für Denkmalpflege, Fachbereich Restaurierung, Esslingen); Abb. 8, 11: Dörthe Jakobs, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Archiv Landesamt für Denkmalpflege, Fachbereich Restaurierung, Esslingen); Abb. 18, 19: Theodor Keller Jun., Reichenau (Archiv Landesamt für Denkmalpflege, Fachbereich Restaurierung, Esslingen).

Klosterinsel Reichenau als Weltkulturerbe.

Didaktische Konzepte zur Besucherlenkung bei klimatisch belasteten Objekten

„Schreiben Sie vor die Kirche: Besucher draußen bleiben. Ihr seid Schuld an den Pilzen.“

Dieser provokante Zuruf richtet sich an die Denkmalpfleger und ist der Eintrag eines Touristen in ein Besucherbuch, das während der jüngsten Restaurierungsarbeiten (Herbst 2003) in der katholischen Kirche St. Georg in Reichenau-Oberzell auslag und regen Zuspruch fand. Die Einträge reagierten auf temporär installierte Informationstafeln, die u.a. für Verständnis dafür warben, dass die berühmten Wandmalereien erneut eingerüstet waren. Sie thematisierten auch die Zusammenhänge zwischen Besucheraufkommen und Klimaproblemen in St. Georg.¹

Dieses Buch war für alle Beteiligte eine unerschöpfliche und informative Quelle. So reagierten die Besucher z.B. überraschend einsichtig auf die Vorschläge, den Zugang zur Kirche eintrittspflichtig zu machen bzw. sie nur für bestimmte Stunden am Tag zu öffnen, bis hin, sie aus konservatorischen Gründen ganz zu schließen. Zwei weitere Glanzlichter dieser Blütenlese möchte ich Ihnen nicht vorenthalten. Sie lauten: „Statt auf das Klima im Allgemeinen und auf die Touristen im Besonderen zu schimpfen: Wie wäre es mit technischer Regulierung der Luftfeuchtigkeit und mit einer Aufsicht in der Kirche?“ Oder: „... eine Botschaft an die Touristenstrategen: ‚Hurra, wir haben ein neues UNESCO-Kulturerbe!‘ Lasst die Finger davon, die Vermarktung macht alles viel schlimmer!“

Das dürfte als Einstimmung zum Thema Klima bzw. „Reiz-Klima“ auf der Insel genügen.

Welterbe und Denkmalpflege

Die Klosterinsel Reichenau ist als Ganzes ein einzigartiges Zeugnis der monastischen Kultur des Abendlandes und zugleich eine herausragende Stätte der mittelalterlichen Geschichte, Kunst und Kultur Europas. Die in diesem Umfang und einer solchen klar definierten topographischen und kulturgeschichtlichen Einheit, eben der Klosterinsel, bewahrten Denkmäler bilden ein Ensemble, das im nordalpinen Europa einzigartig ist. Auf kleinstem Raum verdichten sich hier ca. 5 Jahrhunderte zu einem Lernort von faszinierender Vielfalt.

Die baden-württembergische Denkmalpflege steht seit dem Jahr 2000 vor der komplexen Aufgabe, die gesamte Insel in ihrer gewachsenen Eigenart zu bewahren. Fachleute aus den Bereichen Archäologie des Mittelalters, Inventarisierung, Planungsberatung, Bau- und Kunstdenkmalpflege sowie Restaurierung, tragen dieser besonderen Herausforderung Rechnung.

Die Erwartungshaltung der einzelnen Partner bei der Betreuung der Welterbestätte Reichenau an die Denkmalpflege Baden-Württemberg ist unterschiedlich, aber immer hoch. Nach der Grundlagenarbeit für die Antragstellung zum Welterbe, beteiligt sich die Denkmalpflege nun maßgeblich an seiner denkmalgerechten Erschließung, Vermittlung und Präsentation. Das Welterbegut zu vermitteln und angemessen zu präsentieren, ist bekanntlich eine Grundforderung der UNESCO-Konvention.

Belastung des Welterbes durch Besucher

Die Klosterinsel Reichenau ist durch die Auszeichnung als Welterbestätte vermehrt zum Ziel von Besuchern geworden. Wer mit dem Auto oder dem Bus anreist, kommt zuerst an St. Georg in Oberzell vorbei. Diese Kirche mit ihren Wandbildern war und ist die Hauptattraktion der Insel, es geht in ihr zu wie in einem Bienenschlag. In den Sommermonaten kommen neben den Busreisenden täglich Hunderte von Radtouristen hinzu. Sie lehnen ihre Räder an die Außenmauern der Kirchen oder stellen diese an Regentagen sogar „geschützt“ in der Vorhalle von St. Georg ab. Ähnliches ist auch in Niederzell und Mittelzell zu beobachten. Auf Dauer stellt sich dem Denkmalpfleger auf der Reichenau, aber auch den Inselbewohnern selbst, die dringliche Frage, welche Art von Belastung und wie viel Tourismus das Welterbe mit seinen Kulturdenkmälern verkraftet?²

Nach den bisherigen Erfahrungen ist klar, dass es längerfristig im Interesse der Denkmalpflege ist, mit einem breit gefächerten Informationsangebot dem größer werdenden Besucherstrom aktiv zu begegnen. Den Besuchern die Türe vor der Nase zuzuschlagen, kann sicher nicht unser Ziel sein. Auch zum Thema Denkmalvermittlung und Nachhaltigkeit im Umgang mit dem Welterbe sind im Besucherbuch von St. Georg aufschlussreiche Anregungen zu finden, wir sollten sie ernst nehmen.

So heißt es z.B.: „... die Informationstafel zur Instandhaltung der Kirche sollte fest installiert werden, da mir eigentlich alles, was dort erklärt wurde, völlig unbekannt war und mit Sicherheit dazu beigetragen hat, mein Verhalten in der Kirche so zu ändern, dass ich möglichst wenig Schaden anrichte.“

Vorsorgender Denkmalschutz also durch Wissen, das die Besucher vor Ort, vor Betreten eines zum Welterbe gehörenden Gebäudes, wie jetzt auf der Reichenau angedacht, erwerben können. Der Denkmalpfleger steht dabei in dem wohl bekannten Spannungsfeld, einerseits zum Erhalt der Kulturdenkmale mit ihrem historischen Zeugniswert beizutragen, und andererseits, um es zu pointieren, das Welterbe zu inszenieren.

Didaktische Konzepte zur Präsentation des Welterbes

Seit November 2003 fördert die Landesstiftung Baden-Württemberg die Einrichtung dreier Informations- bzw. Dokumentationszentren für das Weltkulturerbe Klosterinsel Reichenau. Für die inhaltliche Konzeption dieser drei Zentren war das

¹ Ausstellungskonzept und Umsetzung: Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Referat Restaurierung, Dörthe Jakobs.

² Siehe auch: Helmut F. REICHWALD, Denkmalverschleiß durch Massentourismus? Welterbestätte Reichenau, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes, 32. Jg, Heft 3, 2003, S. 252–257.

Landesdenkmalamt Baden-Württemberg zuständig.³ Antragsteller und Betreiber der Einzelprojekte ist die Gemeinde Reichenau. Ein Museumsfachmann ist für zwei Jahre beim Regierungspräsidium Freiburg angestellt und bereitet gemeinsam mit der Gemeinde die Themenschwerpunkte auf. Seine Finanzierung speist sich aus den genannten Fördermitteln. Als weitere Leistung des Landes stellt die Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung als planendes und ausführendes Architekturbüro ihre Dienste zur Verfügung.

Aus der Sicht der Denkmalpflege stellen diese Dokumentationszentren den Versuch dar, Maßnahmen zur Beeinflussung von Besuchern in Bezug auf ihre räumliche und quantitative Verteilung sowie auf ihre Verhaltensweise dem besuchten Kunstgut gegenüber zu ergreifen. Über diese besucherlenkenden Ziele hinaus gilt es, ihnen den abendländischen Beitrag der Reichenau am Welterbe zu vermitteln. Grundprinzip dabei ist, dass die drei Einrichtungen über die Insel dezentral verteilt sind. Ihre Fertigstellung soll im Jahr 2006 erfolgen.

Das Konzept für die angedachten Informationszentren sieht folgendermaßen aus:

Für **Mittelzell** ist ein Neubau mit einer Ausstellungsfläche von 200 m² in Planung. Ein renommiertes baden-württembergisches Grafik-Büro wurde für die museale Umsetzung und Aufbereitung beauftragt. Die im Folgenden für Mittelzell exemplarisch vorgestellten flexiblen Raumelemente und Gestaltungsformen sind auf Ober- und Niederzell modulartig zu übertragen.

Grundgedanke ist der, dass vieles, was den „Geist“ der Reichenau ausmacht, in Büchern überliefert ist. Deshalb wurden für die formale Umsetzung der Themen und Exponate Ausstellungsmodule entwickelt, die gleichsam Bücher zitieren. Diese Ausstellungsmodule stehen frei im Raum, man kann um sie herumgehen. Die Zwischenräume der Module präsentieren sich als intime Kabinette mit Monitoren und Sitzgelegenheiten. Wie echte Bücher sind die Ausstellungsmodule an ihren Schmalseiten beschriftet: Auf diesen Bücherrücken stehen Titel, die zu den Inhalten der Ausstellung hinführen, z.B.: Die Insel der Kirchen und der Klöster für die Darstellung der Baugeschichte von Kloster und Kirche. Die Module sind überdies Bücher, deren Innenleben es zu entdecken gilt. Sie sind als multifunktionale Baukörper konzipiert. Sie tragen sämtliche didaktische Element

te wie Text und Bild, sind Vitrinen oder Leuchtkästen und bieten die vielfältigsten audiovisuellen Medien wie Videos und Hörstationen. Beim Thema Buchmalerei sind zusätzliche Schubladenelemente eingebaut: Diese können herausgezogen werden und der Besucher entdeckt beleuchtete Faksimiles. Beim Thema Klosterkirche können die Besucher an Isometrien die bauliche Entwicklung studieren. Fotos vor und nach den Renovierungsarbeiten dokumentieren die Arbeit der Denkmalpflege. Modelle und Vitrinen setzen weitere Schwerpunkte.

Weitere klostergeschichtliche Einzelthemen werden aufbereitet. Ich nenne nur den auf der Reichenau entstandenen St. Galler Klosterplan sowie das Kloster als bedeutendes Zentrum der Buchkunst. Auf der Rückseite des Moduls zum St. Galler Klosterplan lädt z.B. ein Monitor zu einem virtuellen Rundgang durch das historische Gebäude in einer 3D-Animation ein. Für das Thema Buchkunst und Dichtung ist ein Medienplatz angedacht, an dem man per Mausclick in der Bamberger Apokalypse, dem Perikopenbuch Heinrichs II., dem Evangeliar Otto III. und dem Gero-Codex, Prachthandschriften, die inzwischen zum UNESCO-Memory of the World gehören, blättert. Für die Präsentation des karolingischen „Kräutergärtleins“ von Walahfrid Strabo werden schließlich sämtliche Register gezogen: Über den Monitor können die Betrachter virtuell durch die Kräuterbeete wandern. Eingebaute olfaktorische Stationen lassen sich öffnen, dann entsteigen aus grafisch gestalteten Kräuterbeeten Düfte.

Für **Oberzell** ist ein Neubau in der Nähe der bestehenden Parkplätze bei St. Georg projektiert. Die Ausstellungsfläche beträgt 80 m².

Grundlegend für das Verständnis von Bau und Ausmalung der Kirche St. Georg ist die Präsentation ihrer Baugeschichte. Erläuterungstexte dokumentieren die Anfänge von St. Georg im Kontext der mittelalterlichen Nachrichten. Für eine anschauliche Präsentation der Baubefunde und -perioden bedarf es farbig angelegter Grundrisse und Schnitte. Angedacht war die Anfertigung eines 3D-Modells, das aus finanziellen Gründen zurückgestellt wurde. Neben der Beschreibung des Ausmalungssystems und der einzelnen Bildszenen ist die gesamte Ausmalung im Blick auf ihre hervorragende Stellung in der europäischen Kunstgeschichte zu würdigen. Daran soll sich ein Kapitel zur Maltechnik anschließen, damit die kontroverse Diskussion um die Datierung der Wandmalereien nachvollziehbar wird.

Von besonderer Wichtigkeit ist die denkmaldidaktische Präsentation der Restaurierungsgeschichte. Sie informiert über die Entdeckung und Freilegung der Wandmalereien und gewährt Einblicke in das zeitbedingte Denkmalverständnis. Vor dem Hintergrund der heutigen Lesbarkeit der Bilder muss die mit der Freilegung erfolgte Vermischung der Ausmalungen des 10. und 14. Jahrhunderts, die malerischen Ergänzungen Ende des 19. Jahrhunderts und die korrigierende Restaurierung 1921/22 allgemeinverständlich erklärt werden. Schließlich sind die jüngsten Restaurierungen selbst darzustellen, beschränkten diese sich doch mit der Respektierung des historisch gewachsenen Zustandes auf eine weitgehende Konservierung des Status quo.



Abb. 1. Reichenau-Niederzell, Kirche St. Peter und Paul mit dem für die Einrichtung des Dokumentationsraums vorgesehenen Pfarrtorkel von Südwesten.

³ Zum Konzept siehe Dagmar ZIMDARS, Dörthe JAKOBS, Erik ROTH, Peter SCHMIDT-THOMÉ, Bildungsauftrag, Vermittlung, Zukunftssicherung. Konzepte der Denkmalpflege zur Präsentation der UNESCO-Welterbestätte Klosterinsel Reichenau, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 1, 2004, S. 23–29.



Abb. 2. Reichenau-Niederzell, Kirche St. Peter und Paul mit Pfarrhaus und dem für die Einrichtung des Dokumentationsraums vorgesehenen Pfarrtorkel von Süden.

In **Niederzell** wird der Dokumentationsraum in dem direkt neben der Kirche liegenden Pfarrtorkel eingerichtet, als Ausstellungsfläche stehen 80 m² zur Verfügung (Abb. 1–2).

Eine besondere Würdigung erfahren die Apsismalereien des frühen 12. Jahrhunderts. Die romanische Bauplastik vor allem von Basen und Kapitellen der Langhausarkaden wird durch entsprechende Vergleichsabbildungen in den kunstgeschichtlichen Rahmen der Bodenseeregion gestellt. Weitere Erläuterungen sind für die barocke Neugestaltung der Kirche und deren Veränderung um 1900 vorzusehen, desgleichen für die Restaurierung ab 1974.

Die karolingischen Flechtwerkplatten des Gründungsbaus sollen besonders gewürdigt werden. Bildvergleiche mit Beispielen aus zeitgleichen Kirchen Oberitaliens und der Alpenregion könnten die enge künstlerische Verflechtung mit dem Bodensee-raum verdeutlichen. Als ein einzigartiges Zeugnis mittelalterlicher Frömmigkeit soll die berühmte Mensaplatte des Hochaltars vorgestellt werden. Auf ihr sind ca. 400 mit Tinte geschriebene Personennamen vermerkt, sie datieren in die Zeit von 800 bis 1100. Angedacht ist der Nachbau des Altars mit nach oben gedrehter Platte, da heute das Original in der Kirche aus konservatorischen Gründen nicht gezeigt wird. Hier besteht die Möglichkeit, die überregionalen Beziehungen der Inselgemeinschaft mit Hilfe von Didaktikkarten zu verdeutlichen.

Zum Stand der Umsetzung

Zurzeit sind wir gemeinsam mit unseren recht unterschiedlichen Partnern bei der Umsetzung dieser ehrgeizigen Konzepte. Natürlich prallen dabei konservatorische, gemeindliche, kirchliche und touristische Interessen zuweilen hart aufeinander. Dennoch: Endlich wird in St. Georg daran gedacht, das klassische Instrumentarium intelligent reglementierter Öffnungszeiten, gekoppelt an Führungen mit Eintrittsgeldern, einzuführen. Es fanden erste erfolgreiche Probeläufe statt, die gemeinsam von der Kirchengemeinde und dem Tourismusbüro initiiert wurden.

Es soll nicht verschwiegen werden, dass die Touristiker und die politische Gemeinde mehr als der Denkmalpfleger an der Ausstellung der originalen Codices interessiert sind, als an der Präsentation der komplexen Restaurierungsgeschichte von St. Georg. Dass der Museumsfachmann auf publikumswirksame, musikuntermalte 3D-CAD-Rekonstruktionen setzt, wo der Mittelalterarchäologe eine eher vorsichtig sachliche Aufbereitung seiner Erkenntnisse bevorzugen würde. Dass die politische Gemeinde gar um die Freiheit bei der Verteilung ihrer Fördergelder bangt, weil außer ihr so viele andere Partner bei der Realisierung dieser Projekte mitsprechen. Und dass, einmal mehr, die Denkmalpflege zwischen allen Stühlen sitzt, weil sie

nachhaltig die bewilligten Mittel zum Schutz der Kulturdenkmale und nicht zu ihrer attraktivitätssteigernden Inszenierung eingesetzt wissen will.

Denkmalschutz und Denkmalpflege haben das heutige Erscheinungsbild der Welterbestätte Klosterinsel Reichenau mitgeprägt. Es besteht die Hoffnung, dass die geplanten Dokumentationsräume aus denkmalpflegerischer Sicht ganz entscheidend zur Entlastung der Objekte und zur Lenkung der Besucher beitragen. Räumlich von den jeweiligen Kirchengebäuden abgerückt, fangen sie einen Teil der Besucherströme ab. Sie bauen extensiven Nutzungswünschen und verschleißenden Inszenierungsabsichten in und an den Kirchen vor. Es bleibt zu hoffen, dass sie lehrreich und professionell aufbereitet werden, um das Problembewusstsein zu fördern und komplexe denkmalfachliche und kulturhistorische Themen an interessierte Besucher zu vermitteln. Indem die Dokumentationszentren, im besten Sinne, von den Kulturdenkmälern ab „lenken“, leisten sie ihren spezifischen und nachhaltigen Beitrag zu deren Erhalt. Wenn diese Dokumentationszentren die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen, können sie die klimatisch belasteten Objekte entlasten, lustvoll Wissen vermitteln und für die Kulturgüter selbst sowie die Ziele der Denkmalpflege werben. So jedenfalls lautet unsere, zugegebenermaßen, sehr optimistische Grundhaltung.

Summary

The Monastic Island of Reichenau as a World Cultural Heritage Site.

Didactic Plans for Management of Visitors to Historic Buildings with Climatic Problems

“Put a sign in front of the church: Visitors stay out. You are to blame for the fungus.”

This provocative appeal to preservationists is an entry by a tourist in a visitors' book which contains considerable, sometimes controversial comments recorded on site during the most recent restoration work (fall 2003) in the Catholic church St. George in Reichenau-Oberzell. The above quotation was a response to temporary information panels dealing with the subject of the strain which the great number of visitors to St. George places on this cultural monument. The discussion included proposals to charge a fee to enter the church, to open

Literaturverzeichnis

Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.), Klosterinsel Reichenau im Bodensee. UNESCO Weltkulturerbe. Arbeitsheft 8, Stuttgart 2001.

Helmut F. REICHWALD, Bestandserhaltung oder Entrestaurierung? Drei Fallbeispiele aus dem Bodenseeraum, in: Matthias EXNER – Ursula SCHÄDLER-SAUB (Hrsg.), Die Restaurierung der Restaurierung? Zum Umgang mit Wandmalereien und Architekturfassungen des Mittelalters im 19. und 20. Jahrhundert (ICOMOS – Hefte des Deutschen Nationalkomitees, XXXVII), München 2002, S. 49–69.

Helmut F. REICHWALD, Denkmalverschleiß durch Massentourismus? Welterbestätte Reichenau, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes, 3, 2003, S. 252–257.

Landesdenkmalamt Baden-Württemberg (Hrsg.), UNESCO-Welterbe: Lust und Last?! Arge-Alp-Tagung Insel Reichenau März 2003, Stuttgart 2004.

the building only for certain hours of the day, or even to close the church altogether for conservation reasons.

The “Monastic Island of Reichenau on Lake Constance” was declared a World Heritage Site in the year 2000. The designation does not refer only to the three churches in Mittel-, Nieder- and Oberzell, but rather includes the island in its entirety. As a cultural landscape the island bears outstanding witness to the religious and cultural role of a large Benedictine monastery in the Middle Ages. The wall paintings in St. George in Oberzell and the surviving codices are evidence of an artistic center of great significance for the history of European art in the 10th and 11th centuries.

Based on experiences with the World Heritage Site Reichenau thus far, it is clear that the long-term interests not only of preservationists but also of the Catholic Church will be served by development of a high-quality, scientifically-based conservation concept for management of the ever-increasing stream of visitors. It would be desirable for the Catholic Church to develop visions for the future in this regard and to take an active part in the discussions which have already been initiated. The Church continues to find this difficult.

The State Conservation Office of Baden-Württemberg and its local partners are planning didactic information and documentation centers for Mittel-, Ober- and Niederzell for the year 2005/2006. In a new building in Mittelzell emphasis will be placed on the history of the monastery and on the architectural history of the cathedral St. Mary and Mark. A new pavilion is being planned in Oberzell to visualize the art and restoration history of St. George. In Niederzell an exhibition space is available right next to the church in the former wine press house; plans call for information on religious history as well as on the art and architectural history of St. Peter and Paul to be presented there.

Physically separate from the respective churches, these documentation centers will intercept part of the stream of visitors. They are a precaution intended to head off excessive use of the churches or plans to stage events that would cause wear and tear in and on the buildings. Informative and professionally prepared, they explain complex preservation and cultural-historical themes to the interested visitor and foster awareness of the problems involved with these historic buildings. The documentation centers offer their own specific contribution to the preservation of the cultural monuments by deflecting – in the best sense – visitors from them.

Dagmar ZIMDARS, Dörthe JAKOBS, Erik ROTH, Peter SCHMIDT-THOMÉ, Bildungsauftrag, Vermittlung, Zukunftssicherung. Konzepte der Denkmalpflege zur Präsentation der UNESCO-Welterbestätte Klosterinsel Reichenau, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 33, 2004, H. 1, S. 23–29.

Abbildungsnachweis

Regierungspräsidium Freiburg, Referat 25: Denkmalpflege (Erik Roth).

La conservazione delle pitture delle catacombe romane.

Antichi espedienti e recenti esperienze

Il patrimonio monumentale delle catacombe romane è composto da circa 60, più o meno vasti, complessi funerari scavati nel tufo, che conservano testimonianze pittoriche risalenti ai primordi del III sino al V secolo, con sporadici esemplari del VI-VIII secolo, epoca in cui iniziò il processo di abbandono di questi siti, che rimasero dimenticati nel sottosuolo romano sino al momento della loro riscoperta alla fine del Cinquecento, epoca in cui presero avvio anche gli specifici studi archeologici.¹

La Pontificia Commissione di Archeologia Sacra, ente Vaticano fondato ufficialmente nel 1852, ma erede di una plurisecolare tradizione di precedenti istituzioni preposte alla gestione degli antichi cimiteri cristiani, in base al Concordato tra lo Stato della Città del Vaticano e lo Stato italiano, ha la responsabilità di provvedere alla tutela, allo studio, alla valorizzazione e alla conservazione delle catacombe cristiane diffuse sul suolo italiano.²

La conservazione dell'immenso patrimonio pittorico catacombale romano, che assomma all'incirca a quattrocento unità, è sempre stata una delle esigenze più fortemente avvertite da parte dei responsabili della Commissione, ma è soltanto da poco più di un decennio che si è intrapresa una intensa e scientificamente aggiornata attività di restauro delle strutture decorate, grazie alla quale si può oggi stilare un bilancio sufficientemente approfondito sulle problematiche che affliggono questa tipologia di monumenti e sull'efficacia delle procedure adottate per contrastarne i processi di degrado.³ Benché si sia operato in una decina di differenti complessi catacombali, variamente dislocati nell'area suburbicaria di Roma, e, all'incirca, in una

cinquantina di unità monumentali, è stata riscontrata una quasi assoluta omogeneità dei dati, determinata dalle uniformi condizioni ambientali, dalle comuni caratteristiche strutturali e da una comunanza di vicende storiche, che hanno condizionato lo stato di conservazione delle pitture. Quello che rende l'azione conservativa delle pitture catacombali ardua e non scevra da incertezze operative è la consapevolezza di intervenire in un *habitat* così peculiare tanto da non permettere confronti e scambi di esperienze con situazioni analoghe, attraverso cui poter effettuare verifiche sulle procedure e sui materiali da impiegare negli interventi di restauro; la strada che si è quindi stabilito di intraprendere da parte dei responsabili della Commissione è stata quella di limitare allo stretto necessario le operazioni di restauro – giungendo anche al “non intervento” –, restringendo la gamma dei materiali a quelli che presentano caratteristiche morfologiche simili a quelli originariamente impiegati nella realizzazione delle decorazioni ed avviando, parallelamente, sperimentazioni da cui si spera presto di poter ottenere risultati efficaci.

La caratteristica più eclatante e condizionante del contesto catacombale è indubbiamente rappresentata dall'elevato grado di umidità relativa che si registra negli ambulacri ipogei, che si attesta mediamente attorno al 90%, con lievi variazioni nei diversi periodi stagionali, a fronte di temperature ambientali che oscillano lievemente tra 9–14°C e temperature a contatto delle superfici parietali che registrano generalmente valori inversi rispetto a quelli ambientali⁴. La già di per sé critica condizione conservativa viene ulteriormente aggravata dall'innescarsi del complesso meccanismo del riequilibrio termoisometrico, fenomeno che si verifica quando il contesto ipogeo entra in contatto con fattori “esterni” quali la presenza di fonti di illuminazione, la penetrazione di correnti d'aria dal sopraterreno, l'afflusso di visitatori, fattori che innescano tutta una serie di processi fisico-chimici che portano alla trasmigrazione di sostanze disciolte nell'acqua dall'interno della parete verso l'esterno, ove, con l'evaporazione della componente acquosa, si ri-depositano sulla superficie creando delle patine di differente natura, colorazione e spessore; inoltre, l'elevato grado di umidità relativa, unitamente alla presenza di fonti luminose, favorisce la formazione di attacchi di natura biologica, come la proliferazione di alghe, batteri e organismi fungini (fig. 1).⁵

Tra i danni più frequentemente riscontrati vanno annoverate le perdite di aderenza tra lo strato di arriccio e la superficie del tufo e/o quelle tra l'arriccio e l'intonaco, determinate dalla formazione di sacche di aria prodottesi per la differente reattività all'umidità dei materiali costituenti i supporti pittorici. Tale fenomeno è stato riscontrato nella totalità dei casi presi in esame, giungendo spesso alle estreme conseguenze con cadute localizzate di intonaco più o meno ampie; soltanto in alcuni ambienti si sono verificati degli spancamenti dell'intonaco, con la conseguente formazione di dislivelli di piani, ma, in questi casi, il degrado è da attribuire principalmente a dissesti di

¹ Per una panoramica generale sulle catacombe romane vd., essenzialmente, Vincenzo FIOCCHI NICOLAI, Fabrizio BISCONTI, Danilo MAZZOLENI, *Le catacombe cristiane di Roma. Origini, sviluppo, apparati decorativi, documentazione epigrafica*, Regensburg 1998; sulla nascita della disciplina dell'archeologia cristiana vd. l'efficace sintesi di Friedrich Wilhelm DEICHMANN, *Einführung in die Christliche Archäologie*, Darmstadt 1983.

² Sulla storia della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra cfr. Centocinquanta anni di tutela delle catacombe cristiane d'Italia. Pontificia Commissione di Archeologia Sacra 1852–2002, Città del Vaticano 2002.

³ Vd. Dieci anni di restauro nelle catacombe romane. Bilancio, esperienze e interventi conservativi delle pitture catacombali (Roma, 3 marzo 2000), Città del Vaticano 2000; La conservazione delle pitture nelle catacombe romane. Acquisizioni e prospettive (Atti della giornata di studio, Roma, 3 marzo 2000), a cura di Raffaella GIULIANI (Scavi e Restauri pubblicati a cura della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra, I), Città del Vaticano 2002.

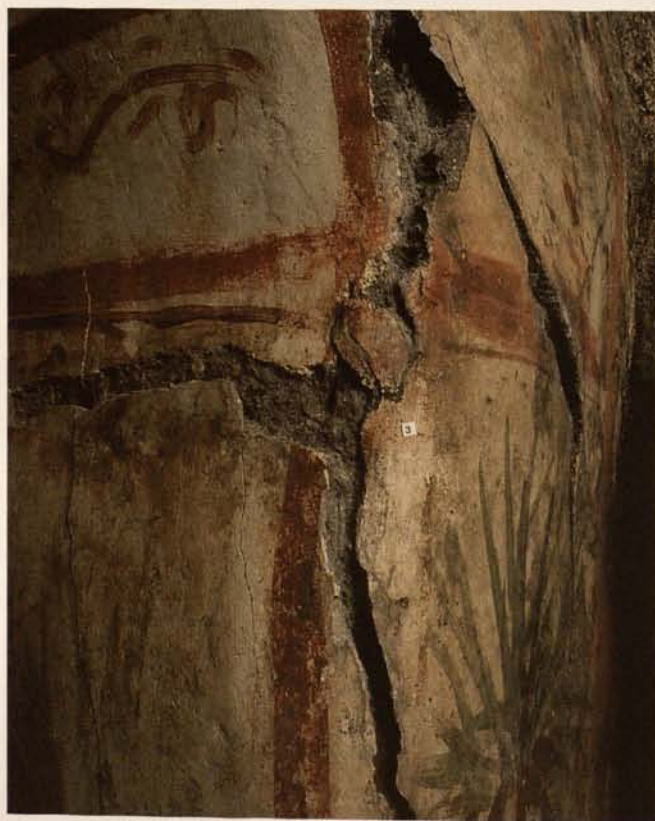
⁴ Cfr. Archivio P.C.A.S., Lambda Scientifica S.r.l., Monitoraggio microclimatico nell'ipogeo degli Aureli a Roma, maggio 1997–maggio 1998.

⁵ Istituto Centrale del Restauro, Fattori di deterioramento, in: DIMOS - Corso sulla Manutenzione di Dipinti Murali, Mosaici, Stucchi, parte II, modulo 1, 1979, pp. 71–72.



Fig. 1. Roma, ipogeo anonimo di via D. Compagni, cubicolo B, stato di conservazione della decorazione pittorica / Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer B, Erhaltungszustand der Ausmalung (1996).

Fig. 2. Roma, ipogeo anonimo di via D. Compagni, cubicolo C, particolare dei distacchi tra intonaco e supporto tufaceo / Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer C, Ablösung des Malerei tragenden Mörtels vom Tuffstein, Detail (1996).



ordine statico riguardanti l'intera struttura (fig. 2).⁶ Problemi di gravi distacchi dell'intonaco sono inoltre causati, limitatamente ad alcuni complessi monumentali, dall'inserimento di apparati radicali vegetali tra il banco di tufo e gli strati di preparazione dei rivestimenti.⁷ Parallelamente alla formazione dei distacchi del supporto, sulla superficie intonacata si verificano fessurazioni di vario spessore che, nel caso dei dissesti statici, giungono a divenire lesioni passanti che coinvolgono in profondità anche le faglie pozzolaniche (fig. 3).⁸ Al medesimo processo di

⁶ Uno dei casi più problematici è stato affrontato durante l'intervento di restauro effettuato nel cosiddetto cubicolo di Sansone nell'ipogeo anonimo di via D. Compagni dove uno smottamento nel terreno soprastante il cubicolo aveva provocato la perdita della copertura voltata e lo schiacciamento delle pareti, al proposito vd. Fabrizio BISCONTI, Barbara MAZZEI, Il cubicolo di Sansone nell'ipogeo di via Dino Compagni alla luce dei recenti interventi di restauro, in: *Mitteilungen zur christlichen Archäologie* 5, 1999, pp. 45–73.

⁷ Raffaella GIULIANI, Il ruolo degli apparati radicali delle specie arboree nel degrado delle catacombe, in: *Bollettino d'Arte* 95, 1996, pp. 139–141.

⁸ In particolare, nel caso della volta del I ambiente sotterraneo dell'ipogeo degli Aureli è stato necessario procedere all'inserimento di perni in titanio fissati alla massa tufacea con resina epossidica onde evitare il distacco di un esteso blocco del soffitto: cfr. Barbara MAZZEI, Ipogeo degli Aureli. Indagini analitiche, intervento conservativo e qualche nota sulla tecnica d'esecuzione, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 80, 2004, pp. 39–62 (54).



Fig. 3. Roma, catacombe di S. Callisto, cubicolo dei Sacramenti A6, fascia interloculare con il ciclo del profeta Giona percorsa da numerose fessurazioni dell'intonaco / Rom, Calixtus-Katakombe, Kammer der Sakramente A6, Jonaszyklus, geprägt von starken Rissbildern (1999).

Fig. 4. Roma, catacombe di S. Callisto, cubicolo dei Sacramenti A4, scena del *fossor* al lavoro, evidenziazione della caduta della pellicola pittorica / Rom, Calixtus-Katakombe, Kammer der Sakramente A4, Szene des *fossor* bei der Arbeit: Malschichtverluste (1998).

degrado sono da assegnare, inoltre, la decoesione ed i sollevamenti subiti dallo strato pittorico, fenomeno che è stato riscontrato negli esempi analizzati in maniera altrettanto diffusa. Per quanto riguarda la pellicola pittorica, il fattore microclimatico sembrerebbe essere intervenuto anche in fase di esecuzione: l'elevato livello di umidità degli ambienti catacombali ha rallentato in maniera impensabile il processo di carbonatazione, per cui, in molti casi, il pigmento non si è sufficientemente fissato al supporto – il colore “spolvera” – tanto da non poterne rilevare alcuna traccia sull'intonaco (fig. 4).

La migrazione dell'acqua attraverso il supporto tufaceo in direzione della superficie esterna, fenomeno che si verifica per una naturale tendenza al ri-equilibrio termoigrometrico tra struttura e ambiente, stimolato dalla frequentazione umana che provoca un divario repentino di notevole entità negli angusti ambienti catacombali e favorito dall'elevata porosità del supporto tufaceo, ha prodotto abbondanti efflorescenze saline di varia natura, ma prevalentemente carbonatica, le quali danno luogo a tutta una gamma di alterazioni che procedono dalla decoesione e disgregazione dei materiali costituenti l'apparato decorativo, alla formazione di incrostazioni superficiali di differenti spessori e tenacità; di solito, il rapporto tra disgregazione dell'intonaco e tenacità/spessore della concrezione carbonatica è inversamente proporzionale, ovvero tanto più spesso e solido è lo strato incrostante maggiormente disgregato e inconsistente risulterà l'intonaco al di sotto.



Tra i vari tipi di incrostazione carbonatica può essere annoverata la cosiddetta "patina nera", degrado oramai considerato caratteristico degli ambienti catacombali, che consiste nella ricarbonatazione dei sali solubili in cui è rimasto fissato particolato atmosferico frammisto, nella maggioranza dei casi, al nero fumo proveniente dai sistemi di illuminazione in uso nel passato in questi ambienti ipogei, condensatisi in particolare modo, per la naturale ascesa dell'aria calda verso l'alto, sulle volte degli ambienti e sui registri superiori delle pareti (fig. 5). Recentemente, nell'ambito di un progetto di ricerca europeo sulla presenza dei cianobatteri in ambienti ipogei, è stata prospettata una seconda ipotesi rispetto alla "natura" di questo diffuso e peculiare degrado secondo la quale la produzione delle incrostazioni carbonatiche, localizzate in prossimità di fonti luminose, potrebbe essere il prodotto dell'attività metabolica dei microrganismi fototrofi, attività che, da un lato, causa il dissolvimento dei supporti carbonatici (intonaci) e, dall'altro, crea strutture di neoformazione composte sia dai precipitati cristallini bioindotti, sia dagli stessi organismi microbici carbonatati.⁹

Dal punto di vista conservativo, gli effetti della "patina nera" sono quanto mai devastanti, irreversibili ed aberranti; nella maggior parte dei casi, infatti, nello strato incrostato rimane inglobato il pigmento della decorazione, per cui è impossibile asportare la patina senza causare la perdita della pellicola pittorica.

Ancora all'elevato grado di umidità, sia direttamente che indirettamente, è da imputare, anche, la disgregazione della materia costituente l'intonaco ed il conseguente aumento della predisposizione del supporto pittorico alle abrasioni ed al dilavamento, fenomeni questi maggiormente evidenti nei casi di parziale interrimento delle superfici parietali o di infiltrazioni d'acqua dal sopraterreno o in presenza di flussi idrici provenienti da falde acquifere sotterranee (fig. 6).¹⁰ Per quanto riguarda le alterazioni di origine biologica, quali la proliferazione di microrganismi, funghi ed alghe, favorita in genere dall'elevato grado di umidità, si è rilevato che negli ambienti catacombali il solo dato idrometrico non è sufficiente all'innescarsi di tale degrado, ma questo si verifica soltanto in presenza di concause quali l'esistenza di fonti di illuminazione ed in concomitanza con presenza umana, per cui il fenomeno, che si manifesta sotto forma di macchie, patine ad ampia estensione e colonie di puntini superficiali che intaccano gli strati pittorici, rimane piuttosto circoscritto alle zone delle catacombe aperte al pubblico, nelle quali, di contro, è anche più difficoltoso arrestarne la diffusione, da un lato favorita proprio dalla circolazione umana, dall'altro per l'impossibilità dell'impiego a vasto raggio di prodotti biocidi nocivi alla salute (fig. 7).¹¹

La storia dell'attività di conservazione delle pitture murali delle catacombe risale al momento stesso della prima riscoperta di uno dei numerosi cimiteri ipogei romani, avvenuta nel 1578;¹² in quell'epoca, però, la consapevolezza dell'inadeguatezza delle tecnologie disponibili per contrastare il degrado in corso, limitò l'azione conservativa alla semplice riproduzione delle pitture attraverso l'esecuzione di copie acquarellate, o incisioni a stampa.¹³

In seguito, a partire dal '700, si optò per ripetuti quanto fallimentari tentativi di asportazione dei dipinti, intraprendendo il distacco delle sole parti figurate delle composizioni decorative, operazioni di cui rimangono a testimonianza le ampie lacune circoscritte presenti, ad esempio, nell'ipogeo dei Flavi o nell'arcosolio del fossore Diogene delle catacombe di Domitilla; tali

Fig. 5. Roma, ipogeo anonimo di via D. Compagni, cubicolo I, la "patina nera" concentrata sulla porzione superiore della parete / Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer I: Verschwärzungen im oberen Bereich der Wände (1999).

eventi si sono perpetuati per più di cent'anni con il solo scopo di appropriarsi, per prevalenti fini antiquari, di testimonianze dell'arte del primo Cristianesimo, con pessimi risultati e senza nessun intento "conservativo".¹⁴ In altri ambienti, invece, importanti lacune di intonaco sono state appositamente prodotte dai frequentatori delle catacombe del passato con l'intenzione evidente di deturpare e non di distaccare le testimonianze pittoriche, forse rispondendo ad un impeto iconoclasta, visto che i segni di piccone si concentrano principalmente sui volti dei personaggi non afferenti a scene prettamente cristiane.¹⁵

Più recentemente, tra la seconda metà dell'Ottocento e l'inizio del secolo successivo, con il procedere dell'evoluzione tecnologica, si è giunti ad eseguire riproduzioni fotografiche in

⁹ Patrizia ALBERTANO, *Methodological Approaches to the Study of Stone Alteration Caused by Cyanobacterial Biofilms in Hypogean Environments*, in: R. J. KOESTLER, V. R. KOESTLER, A. E. CHAROLA, F. E. NIETO-FERNANDEZ (ed.), *Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*, New York 2003, pp. 302-315; Sergio SANCHEZ-MORAL, Juan Carlos CAÑAVÉRAS, Luis LAIZ, Cesareo SAIZ-JIMENEZ, José BEDOYA, Luis de LUQUE, *Biomediated precipitation of calcium carbonate metastable phases in hypogean environments*, in: *Geomicrobiology Journal* 20, 2003, pp. 491-500.

¹⁰ Ad esempio, una infiltrazione d'acqua, la cui origine non è possibile accertare, sta provocando la dissoluzione di un capitello marmoreo inserito nella decorazione parietale del cubicolo N dell'ipogeo anonimo di via D. Compagni; l'acqua, arricchita dal carbonato di calcio disciolto, scorre lungo la parete dipinta ricoprendola con uno strato di calcare che, per ora, mantiene una certa trasparenza.

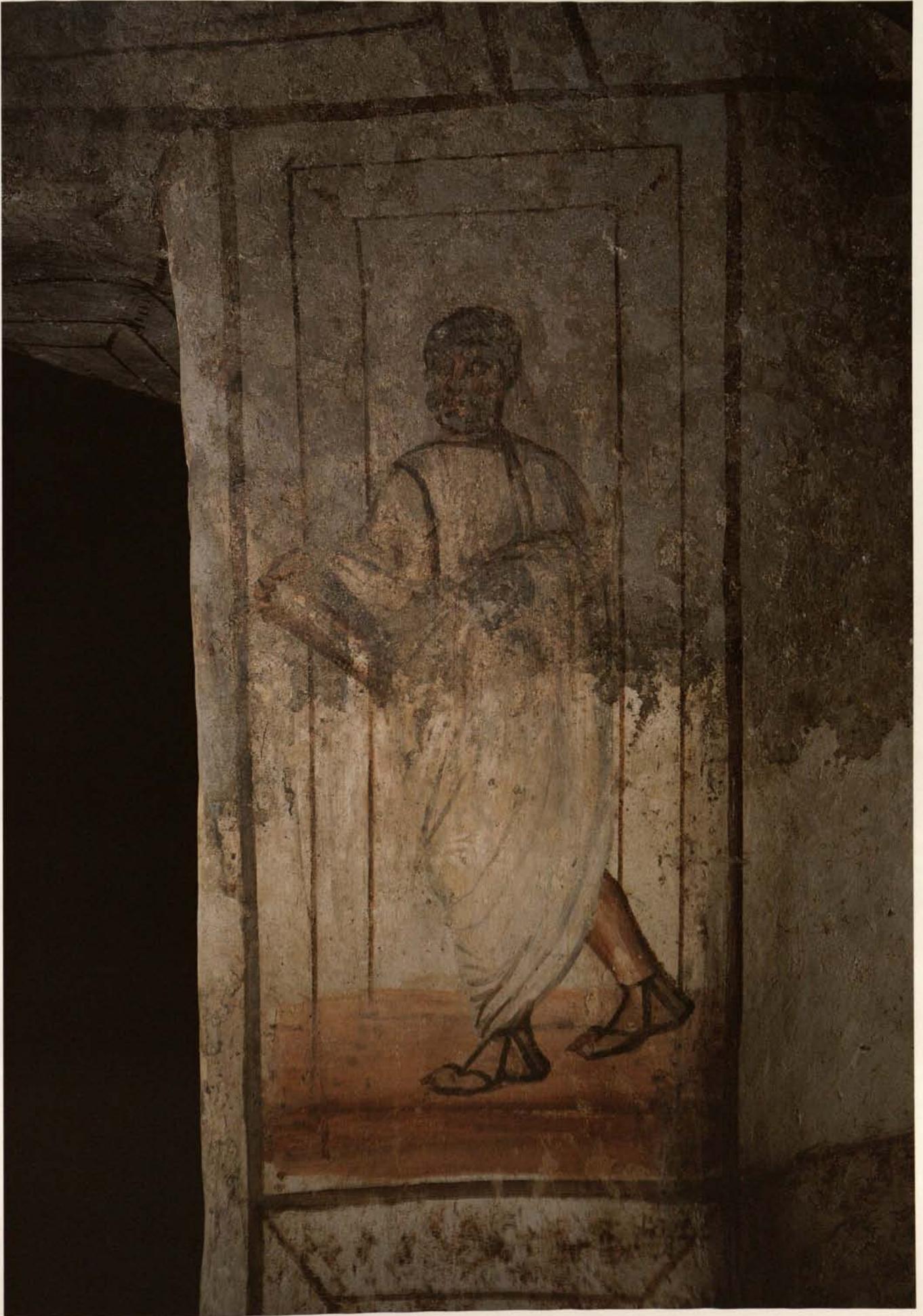
¹¹ Patrizia ALBERTANO, *Diagnosi del degrado causato da comunità di microrganismi fototrofi e proposte di intervento in ambienti ipogei*, in: *La conservazione* (nota 3), pp. 76-80.

¹² Il 31 maggio del 1578, a seguito di una frana verificatasi in una cava di pozzolana in attività, si intercettò la catacomba anonima della via Anapo, che al tempo venne ritenuta la catacomba di Priscilla; l'esistenza di numerose pitture in questo cimitero attirò l'attenzione della gerarchia ecclesiastica e dei cultori di antichità cristiane in quanto la presenza cospicua di testimonianze pittoriche comprovava la pratica del culto dei santi e l'ammissione dell'uso delle immagini nel cristianesimo della prima ora, due dei temi più scottanti nell'ambito della temperie culturale delle controversie tra Riforma e Controriforma. Sulla scoperta della catacomba di via Anapo cfr. Vincenzo FIOCCHI NICOLAI, *Storia e topografia della catacomba anonima di via Anapo*, in: Johannes Georg DECKERS, Gabriele MIETKE, Albrecht WEILAND, *Die Katakomben "Anonima di via Anapo". Repertorium der Malereien, mit einem Beitrag zu Topographie und Geschichte von Vincenzo FIOCCHI NICOLAI (Roma Sotterranea Cristiana, 9)*, Münster - Città del Vaticano 1991, pp. 3-23. Sull'impostazione degli studi di archeologia cristiana vd., specialmente, Pietro FREMIOTTI, *La Riforma cattolica del secolo decimosesto e gli studi di Archeologia Cristiana*, Roma 1926; Giuseppe BOVINI, *Gli studi di archeologia cristiana dalle origini alla metà del secolo XIX*, Bologna 1968.

¹³ Joseph WILPERT, *Die Katakombengemälde und ihre alten Copien. Eine ikonographische Studie*, Freiburg in Br. 1891.

¹⁴ Fabrizio BISCONTI, *La pittura delle catacombe romane tra conservazione e documentazione*, in: Klaus-Dieter DORSCH, Hans Reinhard SEELIGER, *Römische Katakomben-Malereien im Spiegel des Photoarchivs Parker. Dokumentation von Zustand und Erhaltung 1864-1994*, Münster 2000, pp. 4-20.

¹⁵ Joseph WILPERT, *Le pitture delle catacombe romane (Roma sotterranea)*, Città del Vaticano 1903, pp. 151-160.





bianco e nero, anch'esse acquarellate per rendere la cromia, previa, però, una maldestra pulitura delle superfici.¹⁶ Quel che sconcerata di questa pratica è, soprattutto, l'assenza di qualsiasi remora nello sperimentare rimedi che secondo gli studiosi del tempo potevano apportare qualche beneficio. Per far tornare a risplendere i colori, alcune pitture furono sottoposte, nei casi più fortunati, ad "una buona lavanda di semplice acqua" o, in altri più deplorabili, all'"azione chimica di qualche acido".¹⁷ Uno degli esempi più eloquenti di tale pratica è stato individuato in un cubicolo delle catacombe di Priscilla dove si è tentato di asportare la patina nera tramite l'ausilio di sostanze acide e corrosive; il risultato raggiunto è stata la totale decoesione della materia di supporto delle pitture, la produzione di macchie, nonché la neoformazione di incrostazioni filiformi particolarmente tenaci che hanno inglobato parte della pellicola pittorica.¹⁸

Infine, dagli inizi del secolo scorso, con l'accrescersi dell'attività di scavo archeologico, si sono dovuti affrontare veri e propri restauri di emergenza, eseguiti, però, con materiali poco idonei alla effettiva conservazione delle pitture, tanto che oggi una delle principali attività consiste nel "restauro del restauro" (figg. 8 a-b). A difesa di tali interventi va tenuto presente che sono stati realizzati con le tecniche ed i materiali in uso in quei tempi, con il grande merito di aver preservato importanti por-

Fig. 6. Roma, catacombe di S. Callisto, cripte di Lucina, cubicolo y, fenomeno di alterazione dell'intonaco / Rom, Calixtus-Katakombe, Krypta der Lucina, Kammer y, Detail: Veränderungen der Putz-Matrix (2002).



Fig. 7. Roma, catacombe di S. Callisto, cubicolo delle stagioni, volta e lucernario aggrediti da varie tipologie di attacchi biologici / Rom, Calixtus-Katakombe, Kammer der Jahreszeiten, Gewölbe und Lichtschacht mit verschiedenen Formen mikrobiologischer Besiedelung (1997).

¹⁶ Joseph WILPERT, Sul modo di servirsi della fotografia per le pubblicazioni delle opere di arte antica, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 2, 1925, pp. 156-165.

¹⁷ Joseph WILPERT, Sulla tecnica delle pitture cimiteriali e sullo stato di loro conservazione, in: *Dissertazioni. Pontificia Accademia Romana di Archeologia* 2, 5, 1894, pp. 200-218 (pp. 214-215).

¹⁸ Barbara MAZZEI, Il cubicolo dell'Annunciazione nelle catacombe di Priscilla. Nuove osservazioni alla luce dei recenti restauri, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 75, 1999, pp. 233-280.

¹⁹ Fabrizio BISCONTI, Raffaella GIULIANI, Fulvio BALZANI, Barbara MAZZEI Stella CASCIOLI, Maria Gigliola PATRIZI, Scavo e restauro nelle catacombe di Roma e d'Italia, in: *Seminari di Archeologia Cristiana. Archeologia e Cultura della Tarda Antichità e dell'Alto Medioevo. Resoconto delle sedute dell'A.A. 1995-1996*, a cura di Philippe PERGOLA, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 73, 1997, pp. 282-291 (p. 290).

²⁰ Lorenzo LAZZARINI, Marisa LAURENZI TABASSO, *Il restauro della pietra*, Padova 1986, p. 246.

²¹ Fabrizio BISCONTI, Maria Gigliola PATRIZI, Stella CASCIOLI Barbara MAZZEI, Problemi conservativi nel cubicolo dell'Annunciazione nelle catacombe di Priscilla, in: *Scienza e Beni Culturali* 12, 1996, pp. 355-362.

²² Celso BORDIGNON, Caratteri e dinamica della tecnica pittorica nelle catacombe di Roma, *Caxias do Sul-Roma* 2000.

²³ Vitruvio, *De Architettura*, II, 5, 1; VII, 4, 1-3.

²⁴ Plinio, *Historia Naturae*, XXXV, 49; XXXVI, 176.

zioni di intonaco dipinto che altrimenti sarebbero andate perse.¹⁹ Questo tipo di interventi del passato ha prodotto alcune tipologie di degrado che sono state diffusamente riscontrate nei monumenti presi in esame.

Le modalità secondo cui sono stati eseguiti tali interventi consistevano, prevalentemente, nella realizzazione di numerose stuccature realizzate in cemento o, nel migliore dei casi, in cemento miscelato con malta, poste a riempimento sia delle ampie lacune di intonaco che delle più o meno profonde fessurazioni. Soltanto in alcuni casi si è fatto ricorso, per il sostegno dei frammenti di intonaco maggiormente distaccati, a chiodi, perni e staffe in ferro, quando non si è giunti al risarcimento di intere porzioni parietali tramite la realizzazione di strutture in mattoni. L'inadeguatezza in ambienti dall'elevato tenore di umidità relativa dei materiali impiegati, catalizzatori di sali nel caso del cemento e dei mattoni e soggetti ad ossidazione in quello dei sostegni in ferro, ha contribuito all'aggravamento degli stati di degrado, soprattutto per ciò che concerne la decoesione e il disgregamento degli intonaci.²⁰ Un ulteriore intervento con materiali che si sono rivelati successivamente estremamente dannosi è stato riscontrato nel cubicolo dell'Annunciazione nelle catacombe di Priscilla; qui, in un restauro del recente passato, si è tentato di ovviare alla decoesione della pel-

licola pittorica applicando sulle parti dipinte un fissativo a base vinilica steso a pennello il quale con il tempo si è alterato provocando l'imbrunimento dei pigmenti.²¹

Negli ultimi quindici anni si è intrapresa una più consapevole azione conservativa, sostenuta da una intensa attività diagnostica mirata alla comprensione dei meccanismi che concorrono alla formazione delle varie forme di alterazione e di degrado oltre che a fruttuosi chiarimenti sulla tecnica di esecuzione delle pitture, al fine di individuare le tecniche di intervento ottimali che, in alcuni casi particolari, sono ancora in fase di sperimentazione.

Per quanto riguarda la tecnica d'esecuzione delle pitture catacombali, anche nel recentissimo passato, ovvero proprio quando si è tornati ad operare direttamente sulle pitture catacombali, non sono mancati dubbi e oscillazioni d'opinione sull'impiego del "buon fresco", del "mezzo fresco" o della "pittura alla calce".²²

Nel passato questa incertezza era stata determinata da una particolare impostazione degli studi archeologici che vedeva nell'arte delle catacombe il momento di massimo declino dell'"arte classica"; gli studiosi dell'epoca, appoggiandosi alle norme esecutive dell'affresco espresse nei manuali teorico-pratici di Vitruvio²³ e di Plinio²⁴ – che raccomandavano, per una

Fig. 8a. Roma, ipogeo anonimo di via D. Compagni, cubicolo M, stuccature in malta cementizia eseguite successivamente al momento della scoperta dell'ipogeo nel 1955 / Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer M, Putzergänzungen mit zementhaltigen Mörteln aus der Zeit der Auffindung 1955 (2000).



Fig. 8b. Roma, ipogeo anonimo di via D. Compagni, cubicolo M, stuccature a "finto tufo" per riconferire omogeneità alla superficie parietale / Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer M, Putzergänzungen in Tuffimitation, um den Wandoberflächen wieder eine homogene Struktur zu verleihen (2000).





Fig. 9. Roma, catacombe di S. Callisto, cripte di Lucina, cubicolo d, incisioni preparatorie / Rom, Calixtus-Katakombe, Krypta der Lucina, Kammer d: Vorritzungen (2001).

corretta esecuzione dell'affresco, la stesura, rispettivamente, di cinque e di sei strati di intonaco – non trovando corrispondenza di tale pratica in catacomba, ne avevano decretato il relegamento in un limbo definito, in senso dispregiativo, “arte non classica” o “opere di artigiani”.²⁵ Le recentissime incertezze sulla tecnica pittorica catacombale sono nate, invece, dall'osservazione diretta dei monumenti, sui quali sono state registrate alcune anomalie di esecuzione rispetto alla tecnica, più ampiamente conosciuta, impiegata negli affreschi pompeiani e romani.²⁶

Per quanto riguarda il problema della stratificazione degli intonaci bisogna considerare la natura del supporto, ovvero la parete tufacea; questa non presenta certo le medesime caratteristiche di adesione di un supporto, ad esempio, in mattoni, per cui la scelta degli *artifices* delle catacombe di semplificare al massimo il lavoro preparatorio dell'intonacatura, riducendolo, nella maggior parte dei casi, ai soli strati di arriccio e di intonaco, con spessori a volte anche minimi, deve considerarsi come una estrema abilità dimostrata dai pittori delle catacombe nel sapersi adattare alle condizioni contingenti.²⁷

Un secondo aspetto messo in evidenza dalle recenti indagini è stata la pressoché totale assenza delle cosiddette “giornate”, ovvero la sovrapposizione o l'accostamento di due stesure di intonaco avvenute in momenti successivi. Tale pratica era necessaria per la decorazione dei grandi ambienti del sopratterra in quanto la decorazione pittorica andava eseguita su intonaco ancora “fresco”; va da sé che gli esigui ambienti ipogei delle catacombe, ove persiste un elevato tasso di umidità, non richiedevano tali accortezze esecutive in quanto l'intonaco, sebbene steso in un'unica giornata, sarebbe rimasto sufficientemente “fresco” anche per lungo tempo.

Altra anomalia riscontrata riguarda l'esecuzione del disegno preparatorio. Gli affreschi cinquecenteschi mostrano, come metodo generalizzato di disegno preparatorio, la tecnica dello

“spolvero”, procedura che mai è stata adoperata nelle pitture delle catacombe; ciò non toglie che tracce di lavorazioni preparatorie sono state rilevate nella maggior parte dei monumenti. Per quanto riguarda l'esecuzione del partito geometrico, che ha la funzione di organizzare le bianche superfici di fondo, i *pictores* delle catacombe si avvalsero preferibilmente del metodo dell'incisione diretta ottenuta tramite la battitura di fili sull'intonaco fresco su cui rimaneva l'impronta di un solco (fig. 9). Per l'esecuzione delle figure si optò, invece, per un disegno preparatorio ottenuto con pennellate di colore di tonalità molto chiara ed estremamente diluito così che la sovrapposizione dei colori definitivi ne potesse obliterare la presenza. È, infatti, estremamente difficile riuscire ad individuare il disegno preparatorio tanto che l'accertamento della sua esistenza è stato possibile soltanto nei casi in cui il pittore ha avuto dei ripensamenti in corso d'opera.²⁸

La presenza di alcuni difetti incorsi nella fase di esecuzione quali, striature dovute ad una non corretta lisciatura, impronte lasciate degli *artifices* dell'antichità, scarsa coesione dello strato pittorico, discioglimento dei pigmenti che si sono concentrati in colature di colore, sono, anche in questo caso, da attribuire alle particolari condizioni microclimatiche in cui si trovavano ad operare gli esecutori del passato.

Il problema dell'umidità non ha influenzato soltanto le modalità e le procedure del lavoro in fase di realizzazione, ma influenza anche la prassi esecutiva degli interventi di restauro, infatti la specificità degli ambienti catacombali è il primo fattore da prendere in considerazione nella valutazione dello stato di conservazione delle pitture e nella progettazione del risanamento, in quanto le peculiarità dell'*habitat* catacombale sono tali da non

²⁵ Per un'analisi su questo pregiudizievole punto di vista vd. Alois RIEGL, *Spätromische Kunstindustrie*, Wien 1927, pp. 1–22.

²⁶ Nicolò Mario GAMMINO, *L'esperienza del cantiere di restauro nell'ambiente ipogeo con alcune osservazioni nella tecnica pittorica, in: La conservazione* (nota 3), pp. 63–70.

²⁷ La prescrizione vitruviana (*Vitr., De Arch., VII, 4, 1–3*) di miscelare all'impasto dell'arriccio alcuni frammenti di cocciopesto con funzione impermeabilizzante risulta praticamente non impiegata in catacomba, visto che è stata riscontrata, per ora, esclusivamente nell'intonacatura delle pareti della scala dell'ipogeo degli Aureli e in alcune porzioni parietali dell'ipogeo dei Flavi in Domitilla (MAZZEI, nota 8, p. 56; Letizia PANI ERMINI, *L'ipogeo detto dei Flavi in Domitilla. II. Gli ambienti esterni*, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 48, 1972, pp. 235–269). Per quanto riguarda gli spessori degli strati di intonaco sono stati registrati valori molto disomogenei: lo strato di arriccio, prevalentemente composto da calce e pozzolana moderatamente setaccia, con un rapporto tra legante ed inerte del 50%, può variare da cm 0,3 a 4,0, mentre l'intonachino, formato da calce e polvere di travertino, con un rapporto tra legante ed inerte del 30%, va da cm 0,2 a 1,8, riducendosi, in alcuni casi, ad una semplice scialbatura con latte di calce: cfr. BORDIGNON (nota 22), p. 85.

²⁸ BORDIGNON (nota 22), pp. 104–105.

²⁹ Per tutte le procedure di seguito illustrate si rimanda alle relazioni di restauro conservate nell'Archivio Restauri della P.C.A.S. e ai numerosi articoli specifici pubblicati principalmente nella sezione Atti della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra, in: *Rivista di Archeologia Cristiana*.

³⁰ Stella CASCIOLO, Maria Gigliola PATRIZI, *Restaurando in catacomba di cantiere in cantiere*, in *La conservazione* (nota 3), pp. 49–62 (54).

³¹ Vd. ad esempio, il caso della volta del I ambiente sotterraneo dell'ipogeo degli Aureli dove la condizione statica dei blocchi di tufo era particolarmente compromessa. Cfr. *supra* nota 8.

rendere sempre possibile, né tantomeno consigliabile, attenersi alle pratiche restaurative sperimentate e consolidate per i monumenti del sotterraneo.

Secondo le più recenti teorie di conservazione, la principale causa di alterazione delle pitture murali è stata individuata nell'umidità che, con i suoi movimenti e le sue variazioni, innesca vari meccanismi di alterazione sia di carattere biologico, sia, soprattutto, di carattere fisico-chimico. Sempre dal punto di vista teorico, la sola identificazione delle varie tipologie di alterazioni non è sufficiente a delineare un corretto intervento di conservazione, ma occorre preventivamente stabilire l'origine del processo del degrado, risalendo dagli effetti alle cause, senza l'eliminazione delle quali ogni intervento di restauro sarà vano, se non addirittura nocivo. Purtroppo, nel caso degli ambienti ipogei è stato sinora impossibile individuare una soluzione soddisfacente per eliminare la causa primaria di degrado, anzi, l'idea di agire in modo da alterare lo *status* naturale di questi ambienti potrebbe, in effetti, rivelarsi estremamente controproducente piuttosto che vantaggioso. Si è quindi preferito attuare una serie di accorgimenti che possano garantire il maggior grado possibile di salvaguardia, tra questi la limitazione a solo cinque catacombe aperte al vasto pubblico, costantemente monitorate, l'attivazione di percorsi di visita alternativi, la sostituzione degli impianti di illuminazione, sono soltanto alcuni degli "espedienti" attuati per far fronte alla duplice esigenza di conservazione e di fruizione che questi luoghi esprimono.

Contemporaneamente procede la cauta opera di restauro dei monumenti decorati.²⁹ Come abbiamo visto, nella maggior parte dei casi, le operazioni primarie da eseguire in fase di restauro sono legate alle condizioni statiche del supporto. Il più delle volte, i distacchi non sono solo localizzati tra l'intonaco e

Fig. 10. Roma, catacombe dei SS. Marcellino e Pietro, cubicolo di Orfeo, operazioni di consolidamento dei distacchi della volta / Rom, Katakombe der Heiligen Marcellinus und Petrus, Kammer des Orpheus, Stabilisierungsmaßnahmen am Gewölbeputz (1998).

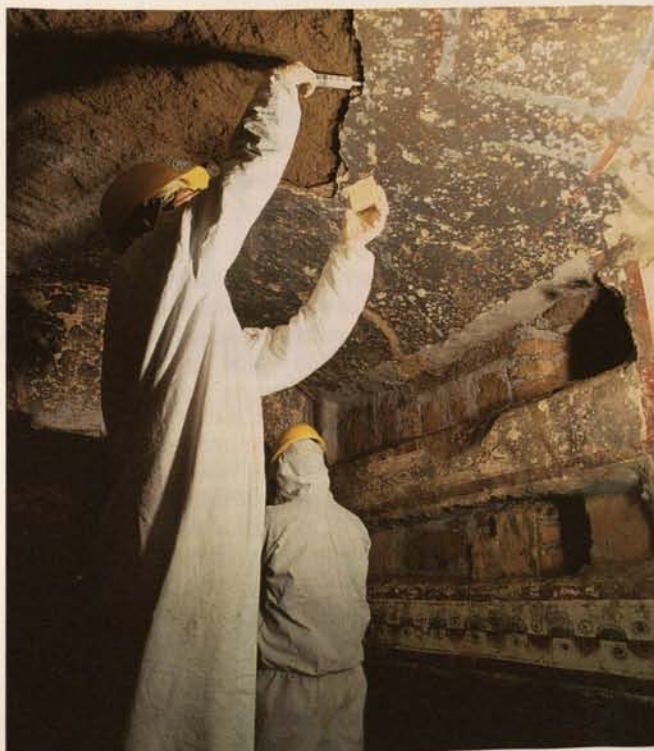


Fig. 11. Roma, catacombe dei SS. Marcellino e Pietro, cubicolo di Nicerus, tasselli di rimozione delle concrezioni carbonatiche / Rom, Katakombe der Heiligen Marcellinus und Petrus, Kammer des Nicerus, Arbeitsproben zur Abnahme der kalkhaltigen Ablagerungen (1999).

l'arriccio o tra l'arriccio ed il supporto tufaceo sottostante, ma possono arrivare ad interessare intere faglie di tufo. I consolidamenti di profondità e di superficie vengono effettuati con iniezioni di malta idraulica, formata da calce idraulica *Lafarge*, pozzolana ventilata ed acqua demineralizzata, materiali, dunque, il più simile possibile alla materia stessa sulla quale si sta intervenendo.³⁰ Sono stati scartati, infatti, l'uso di fluidificanti o l'aggiunta di resine acriliche, materiali comunemente impiegati per favorire una maggiore penetrabilità ed una migliore presa del consolidante, ma che potrebbero innestare altri tipi di problematiche; ad esempio, la maggior parte dei fluidificanti impiegati è facilmente aggredibile da microrganismi. In molte occasioni si è evitato di utilizzare malte premiscelate perché spesso tra i loro componenti è presente la carbossi metilcellulosa, o altri materiali anch'essi facilmente aggredibili da microrganismi. In alcuni ambienti particolari, per la necessità di non appesantire assolutamente la struttura delle volte, sono state sperimentate, inizialmente solo in alcuni punti prestabiliti del supporto tufaceo, diverse miscele, tra le quali è stata scelta il *Ledan TB1*. I settori consolidati con questa malta idraulica sono stati sottoposti, in seguito, a periodici controlli (fig. 10).³¹

In determinate occasioni ci si trova di fronte alla necessità di proteggere alcuni frammenti d'intonaco pericolanti con del velatino di cotone. La scelta dell'adesivo da impiegare dipende dalla resistenza della pittura all'acqua o ai solventi utilizzati in questa operazione e dal grado di umidità dell'ambiente in cui si opera. Ad esempio, non è possibile adottare colle animali solubili in acqua, perché negli ambienti umidi non seccano abbastanza da permettere di proteggere o distaccare la pittura senza rischi, oltre ad essere facilmente aggredibili da microrganismi; l'uso di *Paraloid* disciolto in acetone crea una emulsione bianca lattiginosa appena la soluzione viene a contatto con l'umidità presente nell'aria; in alcuni ambienti maggiormente areati è stato, invece, impiegato del *Paraloid B72* al 20% in tricloroeti-



Fig. 12a. Roma, catacombe di Priscilla, cubicolo dell' Annunciazione, stato di conservazione prima del restauro / Rom, Priscilla-Katakombe, Kammer der Verkündigung: Zustand vor der Restaurierung (1996).

lene. In un caso in particolare il bendaggio è stato eseguito con velatino e gommalacca bianca sciolta in alcool etilico, con l'aggiunta di opportuni fungicidi. In altre circostanze si è addirittura preferito non bendare i frammenti per evitare che la pellicola pittorica, piuttosto fragile, subisse danni irreversibili durante la rimozione della garza di protezione.³²

Per quanto riguarda il consolidamento dell'intonaco decoeso, nella maggioranza dei casi si è preferito procedere solo su alcune zone limitate con l'impiego di una miscela di malta molto liquida, composta da calce idraulica *Lafarge* e pozzolana ventilata, esclusivamente per tentare di bloccare l'ulteriore perdita di materia. Per il resto della superficie, così come per il consolidamento della pellicola pittorica, si è momentaneamente preferito non intervenire per evitare la somministrazione di prodotti non ancora pienamente collaudati nel tempo. Solo in rari casi, dove la situazione era molto degradata, ci si è risolti ad intervenire, limitatamente a poche zone controllabili nel tempo, con una somministrazione di *Paraloid B72* al 3% in tricloroetilene, scartando l'uso di prodotti specificatamente formulati per l'ambiente subaereo, quali i prodotti a base di silicato di etile non utilizzabili in ambienti con presenza di umidità per il formarsi di depositi silicei in superficie, così come si è evitata la somministrazione di resine acriliche sull'intera superficie che potrebbe-

provocare una emulsione filmogena con scarse possibilità di penetrazione nell'intonaco, causando, inoltre, una impermeabilizzazione con conseguente effetto barriera alla naturale traspirazione dell'intonaco.

³² In due cantieri di restauro si è giunti alla soluzione estrema del distacco di alcune porzioni di intonaco decorato: nel cubicolo della "coronazione di spine" nelle catacombe di Pretestato dove i frammenti che compongono la scena della *coronatio* erano stati riposizionati con malta cementizia su di una parete in mattoni, per di più in posizione errata, per cui è stato necessario ricorrere al distacco dei lacerti ed al loro riposizionamento, senza poter ricorrere al bendaggio preventivo a causa del precario stato di conservazione della pellicola pittorica, vd. Fabrizio BISCONTI, La "coronatio" di Pretestato. Storia delle manomissioni del passato e riflessioni sui recenti restauri, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 73, 1997, pp. 7-49; Stella CASCIOLI, Barbara MAZZEI, Maria Gigliola PATRIZI, Il restauro del cubicolo della "coronatio" nel cimitero di Pretestato. Resoconto degli interventi conservativi, in: *ibidem*, pp. 51-63; nel cubicolo M dell'ipogeo di via D. Compagni dove un pilastro di fondazione di un edificio soprastante l'ipogeo aveva parzialmente distrutto la sezione frontale dell'arcosolio per risarcire la quale è stato necessario distaccare l'intonaco decorato, in seguito ricollocato *in situ*, senza l'ausilio di bendaggi protettivi, vd. CASCIOLI, PATRIZI (nota 30), p. 55.



Fig. 12b. Roma, catacombe di Priscilla, cubicolo dell' Annunciazione, stato di conservazione dopo il restauro / Rom, Priscilla-Katakombe, Kammer der Verkündigung: Zustand nach der Restaurierung (1996).

La rimozione degli interventi precedenti eseguiti con materiali non idonei, come già anticipato, riguarda principalmente le pesanti stuccature di cemento impiegate per bloccare i frammenti pericolanti; nonostante sia risaputo che il cemento è dannoso perché può contenere alcuni sali alcalini solubili aggiunti alla formulazione di partenza per ottenere particolari caratteristiche del prodotto finale, non sempre è possibile procedere alla totale asportazione di tale materiale anche per motivi di ordine statico. In altre circostanze, invece, la rimozione di interventi precedenti è resa impossibile dalla completa irreversibilità dei prodotti impiegati, che spesso hanno provocato anche l'alterazione cromatica dell'intonaco e della pellicola pittorica.

La delicata fase della pulitura viene eseguita principalmente per asportare i depositi terrosi che, pressoché omogeneamente, ricoprono le pareti. L'operazione è eseguita a tampone con una minima quantità di acqua demineralizzata ed il più delle volte con l'ausilio di una "spugna" sintetica morbidissima. Il colore, non sufficientemente carbonatato, non viene pulito onde evitare perdita di materiale. La fase successiva riguarda la rimozione di gran parte delle concrezioni e delle patine di carbonato di calcio di varia durezza e compattezza. Non vengono volutamente utilizzati altri prodotti adatti a solubilizzare concrezioni

carbonatiche, che creerebbero certamente danni irreversibili all'intonaco stesso, anch'esso a base di carbonato di calcio, come anche l'impiego di resine a scambio ionico che proseguirebbero incessantemente la loro azione trovandosi in costante presenza di acqua. Per le concrezioni più spesse, grazie all'ausilio di mezzi meccanici quali spazzolini, bisturi e frese leggermente abrasive montate su trapani elettrici di precisione, si tenta semplicemente di assottigliare le concrezioni che inglobano parte del colore. Limitatamente ad alcune zone in migliori condizioni conservative, la rimozione delle concrezioni carbonatiche viene eseguita con strumenti meccanici a percussione, come scalpelli e vibroincisori ad aria compressa, che, sulla restante superficie, potrebbero creare danni all'intonaco (fig. 11).

Gli attacchi biologici vengono affrontati con un intervento di disinfestazione differenziato secondo le circostanze e le singole necessità. In determinati casi non è sempre vantaggioso intervenire su una situazione ormai stabile. La constatazione della presenza di attacchi biologici non è di per sé sufficiente a suggerire un intervento di disinfestazione, ma è fondamentale valutarne i danni indotti. Nei casi di danni di lieve entità, è importante considerare se la rimozione degli organismi possa determinare un'alterazione del substrato superiore in seguito

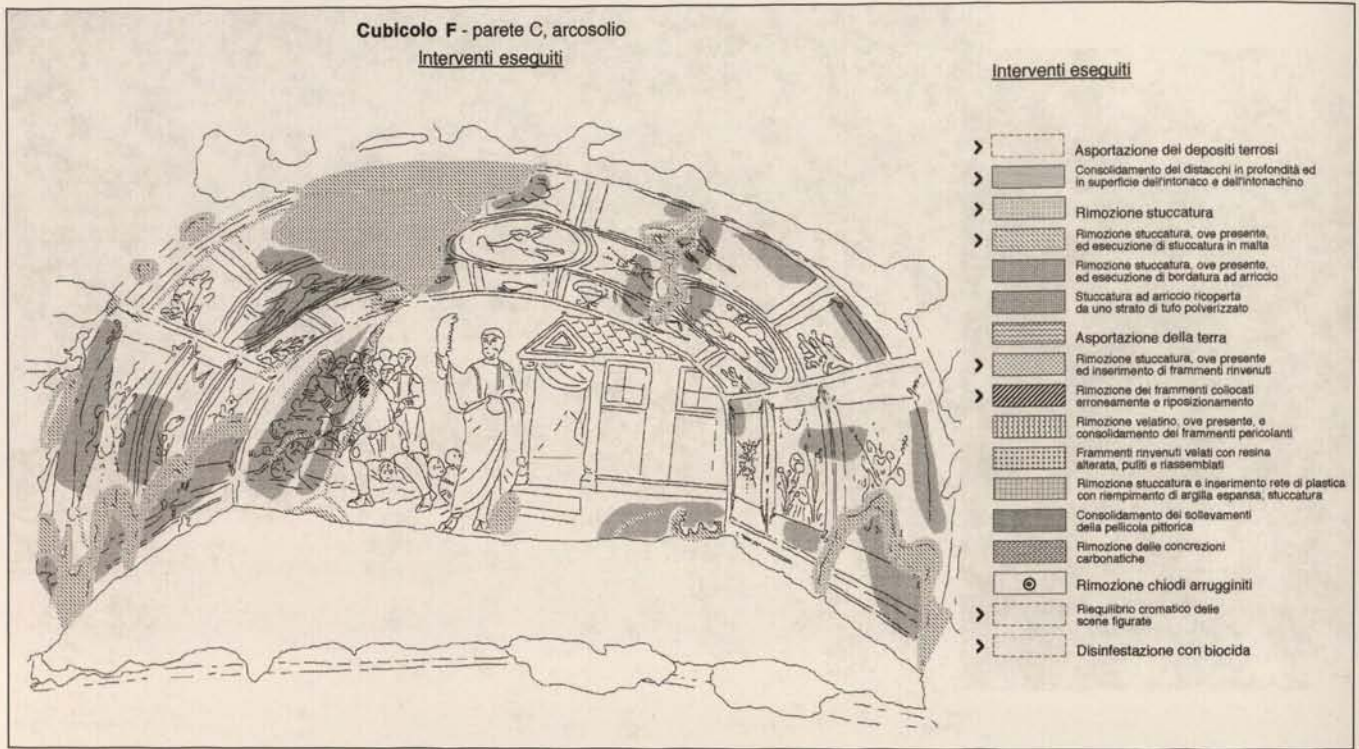


Fig. 13. Roma, ipogeo anonimo di via D. Compagni, cubicolo F, arcosolio di Sansone, restituzione grafica degli interventi di restauro eseguiti / Rom, Hypogäum an der Via D. Compagni, Kammer F, Arkosol des Samson: Kartierung der restauratorischen Interventionen (1998).

all'azione da questi esercitata. In alcuni casi, l'eliminazione di alcune specie può indurre la proliferazione di altre specie, trovandosi quest'ultime in assenza di competizione.

La forma più diffusa di attacco biologico è determinata dai cianobatteri, microorganismi in grado di effettuare la fotosintesi anche in condizioni di scarsa illuminazione. Dal 2001 al 2003 un programma di ricerca, finanziato dalla Comunità europea, si è interessato degli ambienti ipogei per studiare le condizioni microclimatiche che favoriscono la proliferazione di questi microorganismi. Le misurazioni effettuate hanno individuato nelle fonti di illuminazione a luce bianca il fattore di proliferazione delle colonie batteriche, per cui, come sistema preventivo, è stata sperimentata una fonte luminosa monocromatica blu che, durante la fase di sperimentazione in laboratorio, ha dimostrato di possedere uno spettro di emissione che non può essere utilizzato dai cianobatteri per il processo di fotosintesi. L'esperimento è proseguito con l'istallazione di una di queste fonti luminose nel cubicolo di Oceano nelle catacombe di S. Callisto per verificarne la validità e per testarne l'impatto sui fruitori, visto che tale tipologia di lampade altera la cromia delle decorazioni. L'evento è stato, quindi, sottoposto ai visitatori della catacomba che, tramite un questionario, hanno positivamente risposto all'iniziativa, seppur con qualche riserva. Si spera, in un prossimo futuro, di riuscire ad individuare sistemi più efficaci e che richiedano minori compromessi da parte dei fruitori delle catacombe.³³

Per l'esecuzione di stuccature di riempimento delle lacune si cerca di usare materiali il più possibile compatibili con il substrato. Per le stuccature di profondità si costituisce una malta idraulica composta da calce idraulica *Lafarge*, pozzolana romana e polvere di cotto, miscelata in acqua demineralizzata e di granulometria simile all'arriccio. Per le stuccature di superficie la malta è composta da calce idraulica *Lafarge*, polveri di mar-

mo colorate e polvere di cotto, miscelata in acqua demineralizzata, realizzata con una granulometria e con un colore simile all'intonaco. La scelta della calce idraulica *Lafarge* anche per le stuccature, è stata adottata constatando la sua migliore carbonatazione rispetto a quella più lenta del grassello di calce, comunemente utilizzato. Le stuccature così realizzate non vengono rasate per non creare un effetto estraniante rispetto al resto della superficie; si è, inoltre, stabilito di non procedere a forme di reintegrazione, ritenendo sufficiente la ricostituzione dell'integralità della superficie per riconferire unità di lettura all'insieme (figg. 12 a-b).³⁴ Per la reintegrazione pittorica, limitata

³³ Progetto di ricerca "Cyanobacteria ATack rockS: control and preventive strategies to avoid damage caused by cyanobacteria and associated microorganism in Roman hypogean monuments EVK4-CT2000-00028". Per approfondimenti vd., principalmente, Patrizia ALBERTANO, Laura BRUNO, The Importance of Light in the Conservation of Hypogean Monuments, in: Cesareo SAIZ-JIMENEZ (ed.), *Molecular Biology and Cultural Heritage*, Lisse (NL) 2003, pp. 171-177; Patrizia ALBERTANO, Daniela PACCHIANI, Enrico CAPUCCI, The Public Response to Innovative Strategies for the Control of Biodeterioration in Archeological Hypogea, in: *Journal of Cultural Heritage* 5, 2004, pp. 399-407; Laura BRUNO, Silvia PIERMARINI, Patrizia ALBERTANO, La spettro radiometria nel visibile applicata al monitoraggio e controllo del biodeterioramento delle pitture murali nelle catacombe romane, in: *Sulle pitture murali. Riflessioni, Conoscenze, Interventi*, Atti del XXI Convegno Scienza e Beni Culturali (Bressanone 2005), Venezia 2005, pp. 611-617.

³⁴ Nel corso di recenti sopralluoghi è stato possibile osservare un importante fenomeno di condensa limitato alle superfici risarcite con questa tipologia di malta; l'ipotesi, ancora tutta da verificare, riguarda la differente compattezza, ovvero la minore porosità, di queste superfici rispetto agli intonaci originali, elemento che potrebbe favorire, appunto, la formazione di piccole gocce d'acqua.

alle sole scene figurate, si esegue un riequilibrio cromatico a leggerissime velature, sufficiente a ridare esatta lettura delle immagini. Non viene ricostruito nulla, vengono solo colmate le lacune di colore con una tinta neutra o con una tinta di tonalità inferiore all'originale. Per tale operazione, generalmente, si impiegano terre naturali sciolte in acqua senza legante. I colori ad acquerello, normalmente utilizzati per i dipinti subaerei, non possono essere utilizzati perché contenenti gomma arabica, legante aggredibile da attacchi biologici in ambienti umidi. In altre occasioni, invece, è stato provato l'impiego di terre naturali legate con *Paraloid B72* al 1/2% in tricloroetilene, ma si è preferito non continuare l'impiego per la difficoltà d'esecuzione incontrata, con formazione di gore, durante la reintegrazione.

Infine, particolarmente curata è la redazione della relazione tecnica, corredata da documentazione fotografica e dalle pertinenti analisi polimetodologiche. Un'accurata documentazione grafica, con fotografie elaborate al computer, mette in risalto lo stato di conservazione prima dell'intervento con l'individuazione della tipologia dei danni e degli interventi precedenti, mentre altre tavole segnalano le scelte metodologiche operate (fig. 13).

Proprio lo stato di sperimentazione *in progress* in cui sono costretti a intervenire sia i responsabili della Pontificia Commissione che gli operatori stessi dei cantieri di restauro, rende tale documentazione un prezioso patrimonio di conoscenze, in costante espansione, a cui attingere per evitare gli errori, a volte disastrosi, del passato e per giungere ad un sempre più approfondito affinamento delle tecniche esecutive più idonee alla conservazione di queste preziose testimonianze pittoriche delle catacombe romane.

Summary

Conservation of the Paintings in the Roman Catacombs.

Prior Emergency Solutions and Recent Experiences

The extensive grave complex of the Roman catacombs with some sixty individual monuments carved out of tufa includes paintings from the beginning of the 3rd century to the 5th century, with a few examples from the 6th–8th centuries. These burial sites were gradually given up in the latter epoch and thus remained hidden in the Roman underground until their rediscovery in the year 1578, at the same time that an interest in archaeology was also developing.

These monuments have basically all been affected by comparable external conditions and historic events which have had an influence on the paintings' state of preservation. This has resulted in an almost homogeneous situation in terms of damages, involving inadequate technical execution (weak carbonation of the frescoes), the use of materials (inadequate statics, loss of adhesion under the supports, detachment of the paint layers), and different types of changes of a chemical and biological nature (growth of microorganisms). There are also damages resulting from use and from restoration interventions carried out with improper methods, etc.

The main cause of these extensive damages, directly or indirectly, is the high level of relative humidity in these spaces, or more precisely the poor conditions which prevail in the delicate habitat of the catacombs and the sudden changes which have an

effect on the relationship between hygroscopic and climatic values. The latter are caused by external factors such as the existing light sources, drafts coming in from outside, and the stream of visitors.

Since the moment of the catacombs' discovery the interests of archaeologists have been focused on conservation of the pictorial evidence which is preserved there. In the past recognition of the fact that the techniques available were not capable of stopping the continuous deterioration at least led to copies and reproductions being made of the paintings by means of simple water colors. Later there were repeated unsuccessful attempts to remove the paintings. As further technical inventions were developed, reproductions were made photographically; initially these were also touched up with water colors and thus document the appearance of the wall paintings prior to subsequent unskillfully executed surface cleaning. With the increase in archaeological excavations at the beginning of the last century, genuine emergency restorations were also carried out, but the materials used were inappropriate for an effective conservation of the paintings.

In the past 15 years more responsible conservation actions have been undertaken; they have been aided by an intensive diagnosis of the materials used on the paintings and were preceded by an analysis of the techniques used to execute the paintings. Likewise the mechanisms which have led to the various changes and damages were taken into account. In addition the restoration techniques have been refined in order to identify possible new solutions, which in several cases are still in an experimental stage.

Zusammenfassung

Die Konservierung der Malereien in römischen Katakomben.

Ältere Notlösungen und neueste Erfahrungen

Bei den circa 60 Einheiten, die das monumentale Erbe der römischen Katakomben umfasst, handelt es sich um ausgedehnte, aus Tuffstein herausgearbeitete Grabkomplexe, die Malereien vom Beginn des III. bis zum V. Jahrhundert enthalten, mit einigen wenigen Beispielen des VI.–VIII. Jahrhunderts. Eben in jener Epoche wurden die Grabstätten allmählich aufgegeben und blieben so im römischen Untergrund verborgen bis zu ihrer Wiederentdeckung im Jahre 1578, der Zeit, als auch das spezielle archäologische Interesse erwachte.

Diese Denkmale sind im Grunde durch vergleichbare äußere Rahmenbedingungen und historische Ereignisse geprägt, die den Erhaltungszustand der Malereien beeinflusst haben. Sie haben ein fast homogenes Schadensbild bewirkt, sowohl im Hinblick auf die fehlerhafte technische Ausführung (geringe Karbonatisierung der Fresken) und die Materialverwendung (mangelhafte Statik, Verlust der Haftung unter den Trägern, Ablösen der Malschichten) wie auch im Hinblick auf Veränderungen chemischer und biologischer Natur unterschiedlichster Art (Wachstum von Mikroorganismen). Weiterhin liegen auch Schäden antropogener Natur vor (Folgen der Nutzung und mit unsachgemäßen Methoden ausgeführte restauratorische Eingriffe).

Hauptursache für diese umfangreichen Schadensfälle sind direkt oder indirekt der hohe Grad an relativer Luftfeuchtigkeit dieser Räume oder, genauer gesagt, die Missverhältnisse, welche in dem heiklen Habitat der Katakomben herrschen; ferner die plötzlichen Änderungen, die sich auf die Beziehung zwischen hydroskopischen und klimatischen Werten auswirken und in äußeren Faktoren, wie den vorhandenen Lichtquellen, Luftzugerscheinungen oder dem Besucherstrom ihre Ursache haben.

Seit dem Moment der Entdeckung der Katakomben war das Interesse der Archäologen auf die Konservierung der dort erhaltenen bildlichen Zeugnisse gerichtet. In der Vergangenheit hat die Einsicht in die nur unzureichend zur Verfügung stehenden Technologien, die nicht in der Lage waren, den laufenden Verfall aufzuhalten, dazu geführt, dass die Malereien wenigstens durch einfache Aquarelle kopiert und reproduziert wurden. Später hat man wiederholte jedoch missglückte Versuche unternommen, die Malereien abzunehmen. Im Zuge der weiteren

Entwicklung technischer Erfindungen hat man dann fotografische Reproduktionen angefertigt und diese anfänglich auch aquarelliert, nachdem man die Oberflächen ungeschickt gereinigt hatte. Zu Beginn des letzten Jahrhunderts führte man mit den zunehmenden archäologischen Ausgrabungen auch echte Notrestaurierungen aus, jedoch mit Materialien, die zur effektiven Konservierung der Malereien wenig geeignet waren.

In den letzten 15 Jahren hat man dann verantwortungsvollere konservatorische Aktionen unternommen, die unterstützt wurden von einer intensiven Diagnose sowohl hinsichtlich des verwendeten Materials als auch einer vorhergehenden Analyse der ausgeführten Maltechniken. Ebenso hat man die Mechanismen, die zu den verschiedensten Veränderungen und Schadensformen geführt haben, geklärt und bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt. Außerdem wurden die restauratorischen Techniken verfeinert, um mögliche Lösungswege zu ermitteln, wobei diese in einigen besonderen Fällen noch in der Phase des Experiments stecken.

Bibliografia

Joseph WILPERT, Sulla tecnica delle pitture cimiteriali e sullo stato di loro conservazione, in: *Dissertationi. Pontificia Accademia Romana di Archeologia* 2, 5, 1894, pp. 200–218.

Raffaella GIULIANI, Il ruolo degli apparati radicali delle specie arboree nel degrado delle catacombe, in: *Bollettino d'Arte* 95, 1996, pp. 139–141.

Fabrizio BISCONTI, La "coronatio" di Pretestato. Storia delle manomissioni del passato e riflessioni sui recenti restauri, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 73, 1997, pp. 7–49.

Vincenzo Fiochi NICOLAI, Fabrizio BISCONTI, Danilo MAZZOLENI, *Le catacombe cristiane di Roma. Origini, sviluppo, apparati decorativi, documentazione epigrafica*, Regensburg 1998.

Barbara MAZZEI, Il cubicolo dell'Annunciazione nelle catacombe di Priscilla. Nuove osservazioni alla luce dei recenti restauri, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 75, 1999, pp. 233–280.

Fabrizio BISCONTI, Barbara MAZZEI, Il cubicolo di Sansone nell'ipogeo di via Dino Compagni alla luce dei recenti interventi di restauro, in: *Mitteilungen zur christlichen Archäologie* 5, 1999, pp. 45–73.

Celso BORDIGNON, Caratteri e dinamica della tecnica pittorica nelle catacombe di Roma, *Caxias do Sul-Roma* 2000.

Fabrizio BISCONTI, La pittura delle catacombe romane tra conservazione e documentazione, in: Klaus-Dieter DORSCH, Hans Reinhard

SEELIGER, *Römische Katakomben-Malereien im Spiegel des Photoarchivs Parker. Dokumentation von Zustand und Erhaltung 1864–1994*, Münster 2000, pp. 4–20.

La conservazione delle pitture nelle catacombe romane. *Acquisizioni e prospettive* (Atti della giornata di studio, Roma, 3 marzo 2000), a cura di Raffaella GIULIANI (Scavi e Restauri pubblicati a cura della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra, I), Città del Vaticano 2002.

Patrizia Albertano, Methodological Approaches to the Study of Stone Alteration Caused by Cyanobacterial Biofilms in Hypogean Environments, in: *Art, Biology, and Conservation: Biodeterioration of Works of Art*, R. J. Koestler, V. R. Koestler, A. E. Charola, F. E. Nieto-Fernandez (eds.), New York 2003, pp. 302–315.

Barbara MAZZEI, Ipogeo degli Aureli. Indagini analitiche, intervento conservativo e qualche nota sulla tecnica d'esecuzione, in: *Rivista di Archeologia Cristiana* 80, 2004, pp. 39–62.

Referenze fotografiche

Figg. 1–12b: Archivio Fotografico P.C.A.S.; Fig. 13: Barbara Mazzei per Archivio Fotografico P.C.A.S.

La scoperta del secolo e i suoi problemi fisico-strutturali.

Sulle pitture murali recentemente scoperte nel Duomo di Siena

Il 13 dicembre 2001 una conferenza stampa presentò al mondo una scoperta sensazionale negli studi storicoartistici, compiuta nella città di Siena.¹ Nel corso di una serie di accertamenti iniziati nel 1999, mirati al recupero di ambienti adiacenti all'oratorio di San Giovannino, collocato in una strada limitrofa alle fondamenta del Duomo, erano stati scoperti due vani completamente ostruiti da materiali di riempimento. Ci si trovava quindi sul retro del Duomo, sotto il coro, nell'area dove dal 1317 era stato costruito il Battistero. I due vani erano stati progressivamente svuotati; con molta difficoltà, tenendo conto che ci si trovava al di sotto del pavimento del Duomo, e dovendo quindi puntellare il soffitto man mano che si procedeva. Si era così scoperto che le pareti recavano un imponente ciclo di affreschi, sicuramente molto antico.²

L'esame storico artistico dimostrava senza difficoltà che essi appartenevano ad un momento parallelo agli inizi del grande caposcuola della pittura senese alla fine del Duecento e all'inizio del Trecento, e cioè Duccio di Boninsegna; tanto che la datazione doveva corrispondere più o meno al 1270-1280.³ Ci si trovava dunque in una fase fra il tardoromanico e il gotico, corrispondente ad un momento nel quale erano stati compiuti sul Duomo interventi determinanti: dal pulpito di Nicola Pisano alla cupola (coronata nel 1263) alla grandiosa vetrata ducesca. Gli artisti probabili autori degli affreschi potevano essere identificati nei maestri senesi la cui attività era stata ricostruita molto recentemente da Luciano Bellosi dell'Università di Siena: Dietisalvi di Speme, Guido di Graziano, Rinaldo da Siena, accanto al già più noto Guido da Siena. Naturalmente la ricostruzione del corpus dei dipinti di ciascun maestro appartiene ancora ad una fase di proposte critiche, non di certezze; quel che conta, è che ci troviamo nella generazione precedente a Duccio, e la scoperta pertanto fornisce elementi straordinariamente importanti e preziosi per comprendere lo humus da cui prese origine il più grande pittore senese fra Due- e Trecento, estremo caposcuola, insieme con il fiorentino Cimabue, della pittura italiana e occidentale precedente alla rivoluzione di Giotto.

I lavori di eliminazione dei riempimenti proseguirono per tutto il 2002, e furono conclusi nell'autunno dello stesso anno. Contemporaneamente i puntelli provvisori venivano sostituiti man mano che veniva realizzato il soffitto definitivo, a tabelloni in acciaio di 70 x 70 cm appoggiati su un sistema di colonnine ugualmente in acciaio. Si trattava di un aspetto particolarmente critico, poiché in alcune zone i tabelloni dei marmo del pavimento del Duomo non appoggiavano nemmeno sulla terra sottostante, ma erano tenuti precariamente fermi dal semplice incastro! Nell'estate del 2002 furono ritrovati resti dell'abside della cattedrale più antica, appartenente alla fine del XII secolo e ristrutturata profondamente alla metà del Duecento, distrutta per far posto al Duomo gotico; così come fu ritrovato l'estradosso di una cupola del Battistero. I depositi estratti venivano studiati e classificati in tempo reale da una équipe di archeologi dell'Università di Siena; erano presenti dei restauratori della ditta ARC di Giuseppe Gavazzi ed Amedeo Lepri per le necessità più immediate. Lo scavo fu diretto dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Siena; ugualmente l'Università di Siena eseguiva le analisi chimiche. I depositi appartenevano a tre strati, il più alto dei quali era databile alla metà del XVIII secolo; e i materiali provenivano da scavi compiuti nella Cattedrale per costruirvi dei loculi tombali. Sappiamo dai documenti⁴ che già nel 1779, durante un saggio di scavo nel pavimento del Duomo, era stato rinvenuto a breve distanza sotto le lastre un riempimento di terra. Al di sotto di questo primo strato, un secondo formato di depositi vari apparteneva alla prima metà del Quattrocento, corrispondente dunque alla costruzione dell'abside del Battistero; ma le volte dei locali nuovamente scoperti dovevano esser state demolite già alla metà del Trecento, in un'operazione di rinforzo finalizzata alla costruzione del Battistero e al sostegno del coro della Cattedrale. Sotto il pavimento dei nuovi locali, le stratigrafie individuarono resti appartenenti a periodi assai più antichi, dall'ellenismo al tardo medioevo. Fu costruito un bel pavimento in legno flottante, completamente smontabile e quindi del tutto reversibile; e vennero realizzati gli impianti di illuminazione e di climatizzazione. Quest'ultimo, come è comprensibile, risultò particolarmente complesso da progettare e realizzare (e ringrazio sinceramente l'Ingegnere Pietro Paolo Bresci della Ditta Consilium di Firenze, che mi ha messo gentilissimamente a disposizione ogni documentazione e informazione relative). La finalità era di ottenere valori climatici corrispondenti a circa 17 gradi di inverno e 25 d'estate, e insieme un'umidità assai contenuta, preferibilmente sotto il 50%. I due locali scoperti erano adiacenti ad uno già individuato da Enzo Carli alla fine degli anni Quaranta (1946) e pubblicato soltanto assai più tardi,⁵ comunemente conosciuto come "Galleria delle statue", perché ospitò a tratti delle statue erratiche, successivamente collocate nel Museo dell'Opera del Duomo (oggi il vano costituisce l'atrio di ingresso agli ambienti nuovamente scoperti). I due nuovi locali coprivano una superficie pavimentale di 160 mq, mentre la superficie degli affreschi conservati raggiunge i 180 mq.; l'altezza risul-

¹ Conferenza stampa, Banca Monte dei Paschi di Siena, 13 dicembre 2001: Alle origini dell'arte senese - Scoperte architettoniche e figurative nel Duomo di Siena.

² Vd.: Sotto il duomo di Siena. Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative, a cura di Roberto GUERRINI, con la collaborazione di Max SEIDEL, Milano 2003.

³ Duccio. Alle origini della pittura senese, a cura di Alessandro BAGNOLI, Roberto BARTALINI, Luciano BELLOSI, Michel LACLOTTE, Milano 2003.

⁴ Roberto GUERRINI, *Parietes non deformiter picti* (muri dipinti assai gratiosamente). Risultati e prospettive del cantiere sotto il duomo di Siena, in: *Sotto il duomo di Siena* (nota 2), 2003, p. 29, p. 32.

⁵ ENZO CARLI, *Affreschi senesi del Duecento*, in: *Scritti di storia dell'arte in onore di Ugo Procacci*, Milano 1977, Bd. I, pp. 82-93.



Fig. 1. Siena, cattedrale, ingresso agli ambienti riscoperti sul fianco della chiesa / Kathedrale, Eingang zu den freigelegten Bereichen an der Ostseite der Kirche.

tante stava fra i 430 e i 500 cm. L'assetto architettonico originario del locale principale prevedeva tre portali di ingresso, rivolti in direzione del Battistero (e quindi in direzione opposta alla facciata attuale del Duomo); un pavimento in cotto su due livelli, mentre il soffitto era costituito da un sistema voltato con otto volte a crociera, come si poteva dedurre dai resti dei sostegni (colonne e pilastri) ancora riconoscibili.

All'inizio, si era convinti di avere ritrovato la cosiddetta "Confessione", vale a dire il vano contenente l'altare con i resti o reliquie del Santo patrono della chiesa realizzato direttamente al di sotto dell'incrocio dei due bracci della chiesa.⁶ Della sua esistenza si era informati da uno scritto del proposto del Duomo (a nome Bartolommeo Benvoglianti) risalente al 1480 all'incirca, più volte studiato. La "confessione", come risultava dal Benvoglianti, era stata chiusa e sigillata per sempre non oltre gli inizi del Quattrocento. Controlli più approfonditi dimostrarono che l'ubicazione dei locali era diversa; ma qual era la loro funzione, si trattava di una cripta o di un atrio? La conclusione più verosimile cui si giunse è che si doveva trattare di un atrio o vestibolo di ingresso al Duomo dalla parte posteriore, opposta alla facciata. Per quanto riguarda gli affreschi, dopo la scopritura fu



Fig. 2. Siena, cattedrale, ambienti riscoperti / Kathedrale, freigelegter Raum unter dem Chorfußboden.

eseguita una prima fermatura con stuccatura perimetrale dei soli contorni delle zone conservate, ovviamente particolarmente critici. Le superfici venivano protette appoggiandovi lastre in polycarbonato. I restauri furono poi proseguiti anche mentre era in corso la grande Mostra dedicata a Duccio, tenuta a Siena dall'ottobre 2003 al gennaio 2004, iniziando con la parete a destra dell'ingresso originario e con la controparete d'ingresso. Per il consolidamento degli intonaci sono state effettuate iniezioni con malte idrauliche; la pulitura è stata eseguita di norma con carbonato d'ammonio, e i consolidamenti delle superfici dipinte sono stati effettuati secondo il noto metodo fiorentino che fa uso di materiali inorganici, nella fattispecie l'idrossido di bario. Sia la pulitura che il consolidamento hanno potuto essere eseguiti con le stesse tecniche anche su colori abitualmente più

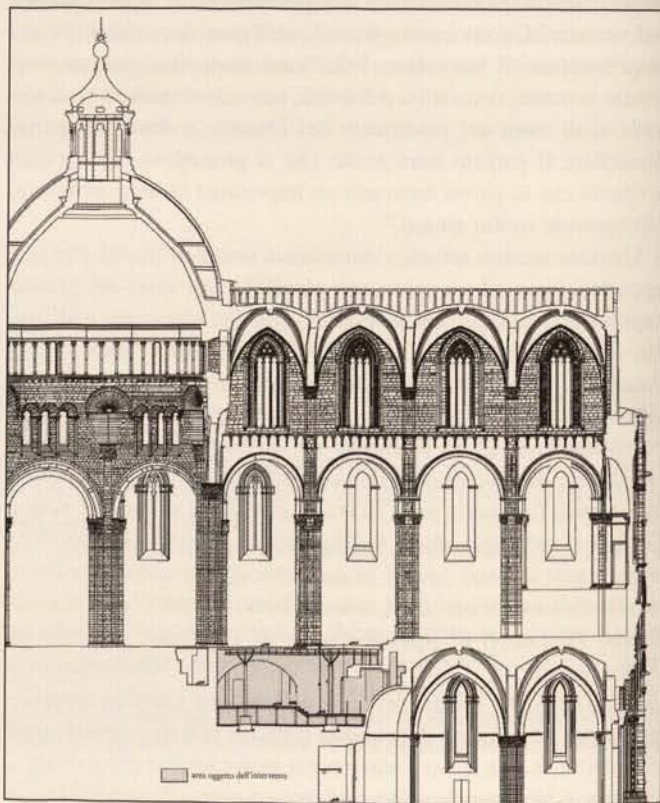


Fig. 3. Siena, cattedrale, sezione longitudinale del coro, disegno della Messbildstelle di Dresda (particolare) con individuazione dell'area dell'intervento / Kathedrale, Längsschnitt der Messbildstelle Dresden durch den Chor (Ausschnitt) mit Kartierung des freigelegten Bereichs (Sotto il duomo di Siena, 2003, 207).

deboli, quali l'azzurrite (che qui di norma s'incontra miscelata con bianco di San Giovanni). La balza in basso in alcune parti è doppia, perché ne era stata realizzata una più tarda, successiva a quella duecentesca. E' stata messa in luce una malta di calce addizionata con cocchiopesto, cioè mattone tritato, che le conferisce un'intonazione rosacea; si tratta di una particolarità assai rara, ancorché non del tutto priva di precedenti. Il risanamento strutturale richiede di smontare, ove materialmente fattibile, gli elementi architettonici; una particolarità della decorazione, che ha destato l'ammirazione degli studiosi, consiste nella completa copertura con decorazioni ad affresco di tutti gli elementi architettonici (basamenti, pilastri, capitelli ecc.), tanto che se ne

⁶ GUERRINI (nota 4), Risultati 2003, pp. 24-25.



Fig. 4. Siena, cattedrale, ambienti riscoperti, parete di fondo: Deposizione dalla croce (prima del restauro) / Kathedrale, Raum unter dem Chor, Rückwand: Kreuzabnahme (Freilegungszustand).

ottiene una testimonianza rara e assai precisa di come doveva presentarsi all'origine un ambiente duecentesco dotato di pitture parietali.

“L'intensità degli azzurri, il chiarore dei rossi, dei verdi e il brillare delle applicazioni in oro vincono ogni possibile paragone con altre imprese pittoriche sia murali sia su tavola. Lo stato di conservazione dei toni cromatici è pari solo a quello delle coeve miniature, destinate per loro natura a restare al buio, come sigillate fra le pagine dei libri. Anche questi dipinti murali, coperti dai detriti, dalla terra e contenuti all'interno di un ambiente sostanzialmente asciutto e climaticamente stabile, non hanno subito lo sbiadimento provocato dalla luce e si sono preservati da puliture o da sfiguranti ridipinture”.⁷ Questo il giudizio dello storico d'arte della Soprintendenza di Siena Alessandro Bagnoli, direttore dei lavori del restauro; dal quale non ho però potuto attingere informazioni, avendo egli rifiutato di incontrarmi in proposito, a differenza di quanto avvenuto con i restauratori, i responsabili dell'impianto di climatizzazione, e gli esperti dell'Opificio delle Pietre Dure autori di una consulenza climatica, di cui dirò dopo. C'è da aggiungere che la nostra migliore comprensione di tutte le varie fasi costruttive del Duomo è facilitata dal fatto che proprio in questi anni si stavano compiendo su di esso studi storico-scientifici straordinariamente approfonditi da parte di un gruppo di lavoro facente capo al Kunsthistorisches Institut di Firenze, appartenente alla Max-Planck-Gesellschaft, guidato da Max Seidel, uno dei massimi conoscitori



Fig. 7. Siena, cattedrale, ambienti riscoperti, controfacciata: Isacco invia Esaù alla caccia, particolare: Isacco / Kathedrale, Raum unter dem Chor, ehem. Rückfassade: Isaak fordert Esau zur Jagd auf, Detail: Isaak.

della civiltà senese. Ciò avveniva nell'ambito di una grandiosa ricerca pluriennale intitolata “Die Kirchen von Siena”; alcuni dei suoi risultati sono già stati pubblicati.⁸ Ugualmente, è apparso nel 2003 un pregevole volume intitolato *Sotto il duomo di Siena – Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative*, a cura di Roberto Guerrini con la collaborazione di Max Seidel.⁹ Esso risulta molto esauriente soprattutto nei saggi di Guerrini sul complesso delle problematiche offerte dalla riscoperta, e di Seidel sulle specificità architettoniche.¹⁰ Assai utile anche il saggio dell'architetto Tarcisio Bratto, responsabile della direzione dei lavori, relativo a tutte le operazioni compiute in rapporto con le difficilissime condizioni strutturali nella realizzazione del soffitto e del pavimento.¹¹ Da questo volume ho assunto la massima parte delle informazioni che sono venute a presentarsi nel convegno della Reichenau, e vorrei pertanto tributare ai responsabili il mio sincero apprezzamento. Naturalmente noi tutti auspichiamo una pubblicazione comprensiva al termine dei lavori di restauro degli affreschi.

⁷ Conferenza stampa (nota 1), 2001.

⁸ *Die Kirchen von Siena* (Mitteilungen des Kunsthistorischen Institutes in Florenz), hg. von Peter Anselm RIEDL und Max SEIDEL (nach alphabetischer Reihenfolge der Kirchentitel mit Text, Bild- und Planbänden, fortlaufend seit 1985), Bd. 3 „Duomo“ in Vorbereitung.

⁹ Vedi nota 2.

¹⁰ GUERRINI (nota 4), *Risultati 2003*, pp. 21–33; Max SEIDEL, *Tradizione e innovazione. Note sulle scoperte architettoniche nel duomo di Siena*, in: *Sotto il duomo di Siena* (nota 2), 2003, pp. 35–83;

¹¹ TARCISIO BRATTO, *Il cantiere sotto il duomo*, in: *Sotto il duomo di Siena* (nota 2), 2003, pp. 169–190.

Non mi soffermo in questa occasione sugli aspetti storico-artistici relativi alla decorazione, che prevede storie dell'Antico Testamento nell'ordine superiore e del Nuovo in quello inferiore. Alcune scene sono di difficile interpretazione, anche per lo stato frammentario; altre sono comunque conservate in maniera straordinariamente soddisfacente, e colpiscono con la forza dei loro colori ancor oggi splendidamente vivaci.

E' da osservare però che alcune delle procedure con cui si sono svolti e si svolgono i lavori possono lasciare delle perplessità, anche se mi sembra corretto avvertire che naturalmente è sempre più facile esprimerle da parte di chi vede le cose dall'esterno. Al momento dello scoprimento, non è stato eseguito nessun rilievo sullo stato degli affreschi nelle singole zone. Non sono disponibili dati relativi all'umidità ambientale antecedente l'inizio dei lavori di restauro architettonico e impiantistica, e gli ambienti nuovamente scoperti venivano tenuti in contatto con gli altri adiacenti. Il consolidamento degli affreschi avrebbe dovuto essere realizzato preferibilmente nel corso della scopritura, man mano che essa avanzava; così come sarebbe stato certamente preferibile proteggere le superfici dipinte con una velinatura completa, anziché semplicemente appoggiandovi sopra una paratia di polycarbonato, come si è detto; tanto più che secondo una prima valutazione di Cristina Danti, direttore del settore restauro dei dipinti murali dell'Opificio, sembra trattarsi di tempere assai ricche di pigmenti. Si attende con particolare curiosità che vengano pubblicate le analisi relative ai colori e alle tecniche, fin qui non ancora disponibili; i restauratori per conto loro mi hanno parlato tout court di dipinti eseguiti ad affresco, e si tratterebbe di alcuni fra i primissimi esemplari conservati eseguiti in questa tecnica. I lavori di restauro sono proseguiti anche durante le aperture al pubblico che si sono avute in concomitanza con la Mostra di Duccio, quando venivano ammessi gruppi di venticinque persone alla volta. Ma soprattutto, lascia sconcertati che l'impianto di climatizzazione sia stato studiato da una ditta specializzata di ingegneristica, del tutto indipendentemente dagli accertamenti climatologici che l'Opificio sta tuttora conducendo. L'impianto funziona con un sistema a ricircolo, non prevede cioè una immissione forzata con delle uscite (si tratta di impianti assai più costosi e che richiedono molta più energia); quindi ogni apertura di porte, ad esempio, comporta delle perdite. L'Opificio, grazie al settore climatologia diretto da Cristina Danti nel quale opera il noto specialista Roberto Boddi, ha collocato sette sensori negli spazi interni (cinque più in alto e due più in basso) e due sul dietro delle pareti, che registrano un'acquisizione ogni ora. L'inizio delle registrazioni risale al marzo 2003. Grafici e tabelle relative alle misurazioni dimostrano comunque in ogni caso che la situazione interna, come ci si può attendere considerando l'ubicazione dei locali, è molto stabile sui cicli brevi sia per la temperatura che per l'umidità; sui grandi cicli invece, mentre la

temperatura rimane assolutamente stabile, quanto all'umidità si registrano delle escursioni assai ampie, e alcuni periodi sembrano esageratamente asciutti.

In conclusione, è ancora presto per trarre un bilancio ed esprimere valutazioni ragionevoli quanto alle risposte che i vari responsabili dei lavori hanno dato a tutti i problemi offerti dalla scopritura degli affreschi. Le operazioni di consolidamento delle superfici dipinte sembrano realizzate efficacemente, ma naturalmente non è possibile valutare dall'esterno se averle procrastinate, anziché eseguirle contestualmente alle scopriture, possa avere comportato qualche conseguenza negativa. Certamente, avere commissionato e fatto eseguire l'impianto di climatizzazione indipendentemente dalle analisi e dai rilevamenti climatologici condotti dall'Opificio fa sì che oggi ci si domandi se si riuscirà efficacemente ad intervenire sull'impianto in modo da rispondere alle indicazioni offerte dai rilevamenti stessi. Sembra assolutamente indispensabile ottenere una maggiore stabilità climatica per i due locali per quanto riguarda l'umidità, in modo che questo rarissimo ciclo preduccesco sia posto nelle migliori condizioni per continuare ad affascinare i visitatori di quella magica città che è Siena.

In ogni caso, appare evidente l'eccellente qualità delle soluzioni architettoniche studiate e messe in atto per risolvere il difficile problema di permettere l'accessibilità e la fruibilità dei dipinti murali da parte del pubblico. Il risultato costituisce un esempio di alta classe di museologia applicata, degno di essere conosciuto e divulgato nel mondo degli studi di questa disciplina.



◁ Fig. 5. Siena, cattedrale, ambienti riscoperti, veduta della controfacciata: Presentazione al Tempio, particolare: San Giuseppe / Kathedrale, Raum unter dem Chor, Blick auf die ehem. Rückfassade: Darstellung im Tempel, Ausschnitt: Joseph.

◁ Fig. 6. Siena, cattedrale, ambienti riscoperti, parete sinistra: Annunciazione, Visitazione / Kathedrale, Raum unter dem Chor, linke Seitenwand: Verkündigung an Maria, Heimsuchung.

▷ Fig. 8. Siena, cattedrale, ambienti riscoperti, parete sinistra: Annunciazione, particolare: Maria / Kathedrale, Raum unter dem Chor, linke Seitenwand: Verkündigung, Detail: Maria.

Summary

A "Discovery of the Century" and its Problems in terms of Building Physics. On the Newly Discovered Wall Paintings in the Cathedral Crypt in Siena

On December 13, 2001 a press conference made public a sensational discovery for the field of art historical research. In the course of repair work begun in 1999 on the cathedral in Siena, undertaken to re-establish the original surroundings of the so-called oratory of "San Giovannino", two rooms which were completely filled with rubble were discovered under the chancel. The debris was removed from both rooms, a considerable undertaking because the chancel floor was resting on the rubble; supports had to be installed as the work proceeded. A series of wall paintings was revealed in the exposed rooms which must have been painted around 1270–80, parallel to the beginnings of the major works of Siense painting at the end of the 13th century.

The lecture considers the possible artists who could be associated with the wall paintings and explains the importance of the discovery in relation to their date of origin. The series precedes the paintings of Duccio di Boninsegna and thus contributes significantly to an understanding of the sources of the greatest Siense painter at the turn of the 13th to the 14th century. Brief reference is also made to the architecture and its possible function (atrium or vestibule as the rear entrance to the cathedral, more or less as a pendant to the facade architecture). Considerable knowledge concerning the cathedral's architectural history comes from the "Churches of Siena" research project at the Art History Institute of the Max Planck Association in Florence.

The work to remove the rubble took until fall 2002 and included replacement of the temporary supports with steel girders.

The second half of the lecture deals with restoration work on the frescoes and discusses issues relating to the climatic problems. Restoration of the wall paintings took place in a final campaign, which also ran parallel to the large Duccio Exhibition from October 2003 to February 2004. During the exhibition groups of 25 people each were allowed to visit the newly discovered rooms with the wall paintings at predetermined time intervals.

Critical observations are directed at various topics, listed here only summarily: the course of discovery and restoration; issues of protection of the paintings during the exposure of the rooms; the still inconclusive clarification of the original painting technique; the failure to map the damages on the wall paintings at the time of their discovery; the special climatic problems; the technology used for climate control; and the climatic measurements which were only started very late in the course of the work.

Bibliografia

- Enzo CARLI, *Affreschi senesi del Duecento*, in: *Scritti di storia dell'arte in onore di Ugo Procacci*, Milano 1977, vol. I, pp. 82–93.
Die Kirchen von Siena (Mitteilungen des Kunsthistorischen Institutes in Florenz), hg. von Peter Anselm RIEDL und Max SEIDEL (nach alphabetischer Reihenfolge der Kirchentitel mit Text, Bild- und Planbänden, fortlaufend seit 1985), Bd. 3 „Duomo“ (in Vorbereitung).
Duccio. *Alle origini della pittura senese*, a cura di Alessandro BAGNOLI, Roberto BARTALINI, Luciano BELLOSI, Michel LACLOTTE, Milano 2003.
Sotto il duomo di Siena. Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative, a cura di Roberto GUERRINI, con la collaborazione di Max SEIDEL, Milano 2003.

Zusammenfassung

Ein Jahrhundertfund und seine bauphysikalischen Probleme. Zu den neu entdeckten Wandmalereien der Sienser Domkrypta

Am 13. Dezember 2001 präsentierte eine Pressekonferenz der Welt einen sensationellen Fund für die kunsthistorische Forschung. Im Verlauf einer Serie von 1999 begonnenen Arbeiten zur Instandsetzung am Dom in Siena, mit dem Ziel die Umgebungssituation des so genannten Oratoriums des „San Giovannino“ wiederherzustellen, entdeckte man unter dem Chor zwei Räume, die vollständig mit Aufschüttungsmaterial gefüllt waren. Das Schüttmaterial wurde aus den beiden Räumen mit hohem Aufwand entfernt, immerhin lastete der Fußboden des Chors auf der Schüttung, so dass sukzessive Abstützungen im Zuge der Arbeiten erfolgen mussten. In den aufgedeckten Räumen fand sich ein Wandmalereizyklus, der parallel zu den Anfängen der Hauptwerke der sienesischen Malerei am Ende des 13. Jahrhunderts, um 1270–1280 entstanden sein musste.

Der Vortrag befasst sich in der Folge mit den möglichen Künstlerpersönlichkeiten. Die besondere Bedeutung des Fundes erklärt sich u.a. daraus, dass der Freskenzyklus den Malereien eines Duccio di Boninsegna vorausgeht und somit wesentlich zum Verständnis der Ursprünge des größten sienesischen Malers der Wende zwischen 13./14. Jahrhundert beizutragen vermag. Weiterhin wird kurz auf die Architektur und ihre mögliche Funktion eingegangen (Atrium oder Vestibül als rückseitiger Zugang zum Dom, sozusagen als Pendant der Fassadenarchitektur). Wesentliche Erkenntnisse zur Baugeschichte des Domes sind dem Kunsthistorischen Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Florenz im Rahmen des Forschungsprojektes „Die Kirchen von Siena“ zu verdanken.

Die Arbeiten zur Entfernung der Aufschüttung dauerten bis Herbst 2002, wobei die provisorischen Stützen durch Stahlträger ersetzt wurden.

Der zweite Teil des Vortrags setzt sich mit den restauratorischen Maßnahmen an den Fresken auseinander und diskutiert Fragen zur Klimaproblematik. Die Restaurierung der Wandmalereien fand in einer letzten Kampagne statt und verlief auch noch parallel zu der großen Duccio-Ausstellung von Oktober 2003 bis Februar 2004, währenddessen jeweils 25 Personen in festgelegten Zeit-Intervallen die neu entdeckten Räume mit den Wandmalereien besichtigen durften.

Kritische Bemerkungen beziehen sich auf verschiedene Themenfelder, die hier nur summarisch genannt seien: auf den Ablauf von Aufdeckung und Restaurierung, auf Fragen des Schutzes der Malereien während der Aufdeckung, auf die nicht abschließend geklärte Maltechnik, auf fehlende Schadenskartierungen der Malereien zum Zeitpunkt der Aufdeckung sowie auf die besondere Klimaproblematik, die Technik zur Klimatisierung und auf die im Zuge der Arbeiten erst sehr spät begonnenen Klimamessungen.

Referenze fotografiche / Abbildungsnachweis

- Giorgio Bonsanti: Fig. 1, 2, 5, 6; Sotto il duomo di Siena. Scoperte archeologiche, architettoniche e figurative, a cura di Roberto GUERRINI, con la collaborazione di Max SEIDEL, Milano 2003: Fig. 3, 4, 7, 8. – Mit freundlicher Genehmigung der *Banca Monte dei Paschi di Siena* und der *Opera della Metropolitana di Siena*, die Inhaber aller Rechte ist (Genehmigung: 939/05).

The Scrovegni Chapel.

Multidisciplinary Research and Environmental Protection

Introduction

The restoration of the pictorial cycle of Giotto in the Scrovegni Chapel has meant for the Central Institute of Restoration (ICR) and former director at that time, Mr. Giovanni Urbani, the opportunity to put together a proposal and experiment a radically different approach to restoration from the traditional one, which is based on a few, but fundamental principles:

1. The first one consists in detecting, through a number of investigations, tests and scientific analyses appropriately tackling the issue, which were the causes of decay or damages that were visible on the paintings with the purpose of removing them or at least reducing their kinetics.
2. The second one consists in implementing target interventions ahead of time to reset the environment to suitable conditions, i.e. making it ideal for the work of art with which it interacts – making sure that any intervention on the same will have to be made only after the ambient has been tested proper and fit.
3. The third one consists in making sure that interventions will have to be made not only progressively, i.e. from the basic ones to the more complex ones, but also without any automatization or compulsory sequence: hence, adopting the more complex ones (which are also the most expensive in general, and the most risky ones) just when all the rest have seemed to be clearly insufficient.

These studies conducted on the Chapel are the result of a big commitment carried out since 1977 and throughout 2002, by a team basically represented by chemists, physicists, biologists, engineers, architects, art historians and restorers.

Keeping in mind the volume named "Il Restauro della Cappella degli Scrovegni: indagini, progetto, risultati"² for an essential, however, complete synopsis of the research, studies and interventions, both conducted on the environment, the building, the mural paintings and the other masterpieces of the Chapel, this paper mainly wants to summarize the chemical –

physical evaluation relative to the study of the state of conservation and the causes of decay of the mural paintings and to the assessment of air quality and microclimate of their container, in addition to defining and realizing a number of interventions aiming at preventing the decay; the ultimate goal of the research has been creating a technological ambient (named in Italian *Corpo Tecnologico Attrezzato*, acronym CTA) equipped with a heating and chilling plant and an air filtering unit for the preventive conservation of the Chapel.

To better outline the development of the research and the interventions applied to the environment, the building and the mural paintings, a chronological order has been followed.

Research and interventions:

Years running from 1977 through 1979

Two American researchers, Sayre and Majewski, have published in 1963 a first study on the state of conservation of the paintings, detecting a significant presence of calcium sulfate onto the surface.³ In 1977, the Central Institute for Restoration, based upon an initiative of the director Mr. Giovanni Urbani, was the promoter of an interdisciplinary research consisting in a series of chemical, physical and biological researches.⁴

The analysis relative to the content of gypsum in the paintings confirmed in the broadest and systematic way the data of the two American researchers; the most interesting outcomes resulted from the measurements of air quality of which two significant points were stressed:

- a) The Chapel was a space strictly linked with the external environment by a sensitive air exchange renewal at open door (during the day, in relation to the in & out of visitors); hence, there was an uncontrollable intake of polluting agents besides damaging thermo-hygrometric gradients inside the Scrovegni Chapel which have been evidenced by parallel measurements.
- b) The sulphation of the paintings was due to the effects of dry deposits of sulphur dioxide and suspended particulate matter (s.p.m.) containing jointly gypsum and sulphuric acid.

In fig. 1 it has been indicated the flow of concentration of sulphur dioxide on March 21st, 1979, in opening (open door) and closing (closing door) the entrance door of the Chapel: we can clearly argue that the unregulated opening of the door determined an immediate diffusion of sulphur dioxide in the inside, that was subsequently (at the time of closing the doors) completely adsorbed by calcium carbonate of the walls in nearly 4 hours. Simultaneously, the calcium carbonate/gypsum ratio was measured (through X-ray diffraction) on samples of painted plaster taken at different levels of depth, outlining a clear sulphation relative to the dust deposited and to the first layer some tens of micron thick (see table 1).

¹ G. BASILE, E. MANCINELLI, P. SANTOPADRE, M. IOELE: Central Institute for Restoration, Rome; V. FASSINA: Superintendence to the Historical, Artistical and Demoeanthropological Heritage of Veneto, Venice; A. G. STEVAN: SYNCRO, Padua; R. CESAREO: University of Sassari; A. CASTELLANO: University of Lecce.

² Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni: indagini, progetto, risultati*, Milano 2003.

³ Edward V. SAYRE, Lawrence J. MAJEWSKI, *Studies for the Preservation of Frescoes by Giotto in the Scrovegni Chapel at Padua. Technical investigation of the deterioration of the paintings*, in: *Studies in Conservation* 8, 1963, pp. 42–54.

⁴ The team was set up by ICR in cooperation with the CNR Laboratory of Chemistry and Technology of Radioactive Elements in Padua, the Universities of Padua, Venice and Rome, the CNR Centre of Rome "Works of Art", the CNR FISBAT Institute of Bologna and the Chemistry Laboratory of the BB. AA. SS. Superintendence of Venice.

Sample	carbonate/sulphate
Deposited dust	47/53
Last Judgment, grey background	
First surface layer	63/37
Same point up to 1 mm	89/11
Same point from 1 to 6 mm	100/0
Same point from 6 to 10 mm	100/0
Same area, other	
First surface layer	78/22
As above up to 1 mm	94/6
As above from 1 to 6 mm	100/0
As above from 6 to 10 mm	100/0
Left side wall, green band	
First surface layer	61/39
Same point up to 2 mm	100/0
Same point from 2 to 6 mm	100/0
Same point from 6 to 10 mm	100/0
Mary's birth, blue background	
First surface layer	43/57
Right side wall, green band	
Plaster up to 2 mm	90/10
Same point from 2 to 6 mm	100/0
Counterfaçade, beneath the vault	
Small area "testimony" of the background*	
First surface layer	87/13
Same point up to 2 mm	100/0
Same point from 2 to 6 mm	100/0
Same point from 6 to 10 mm	100/0

*Left intentionally unfinished by Leonetto Tintori during the restoration performed in the years 1961 throughout 1963.

Table 1. Calcium carbonate/calcium sulphate weight ratio in painted plaster samples at various depths.

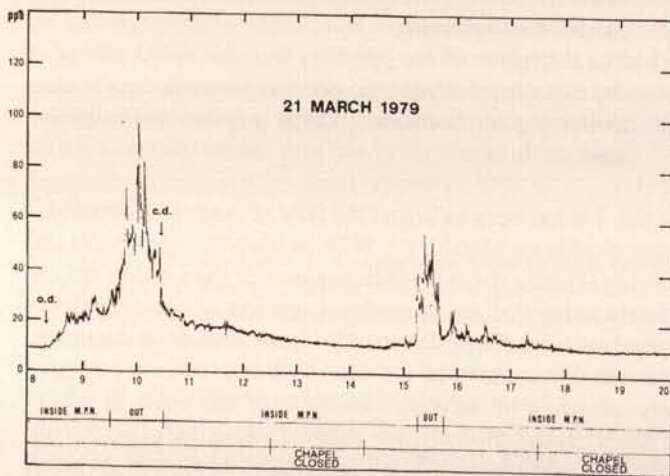


Fig. 1. Padua, Scrovegni-Chapel: Tred of concentration of sulphur dioxide (SO₂) registered on March 21, 1979 at open door (o.d.), at closed door (c.d.), at half nave (mpm), at external location (out).

The relevant outcomes were published in a special volume in the "Art Bulletin of the Ministry of Fine Arts and Cultural Activities" entitled "Giotto in Padua"⁵ and in which the Director of ICR indicated the preventive actions of simpler realization: application of screening window panels to protect the interior from IR and UV rays; replacement of incandescent lighting with cold lamps to prevent the vortex effect that was pushing dust and pollution agents onto the wall paintings; planting evergreen trees with a high trunk in order to screen windows from sun rays. The definition and the implementation of much more complex interventions had to be postponed to a subsequent time following the evaluation of the efficacy of the first provisions taken.

Years running from 1988 through 1996

Having evaluated positively the results from those first interventions (exception made for the trees that were never planted for screening), at the beginning of 1988 a new cycle of studies began, primarily aiming at better understanding the causes generating an extended whitening, located mainly on the wall of the counterfaçade and on the joint between the left wall and the vault upon the triumphant arch, together with much abundant flaking and pulverization of the pictorial layer.

During this phase, ionic chromatography has been utilized for the analysis of soluble salts and scanning electronic microscope with a micro-analytical X-ray device (SEM+EDS) for the elemental analysis of plaster with particular reference to the distribution of sulphur.

In fig. 3 results are shown relative to chlorides, sulphates, and nitrates, measured in watery extracts of cellulose pulp of pads used for the extraction of soluble salts, from which it is clear a significant presence of nitrates, which were not detected in the first phase of the study.

In fig. 4 an X-ray map is indicated (realized by SEM + EDS) relative to the distribution of sulphur and calcium in plaster samples taken from the counterfaçade: the map indicates a considerable adsorption of sulphur dioxide up to 50 microns. Based upon this analysis, sulphation resulted penetrating between 10 and 60 microns on average (reaching sometimes also 100 micron), starting from the external surface.⁶

Briefly, the causes determining whitening and/or yellowing of the pictorial layer are summarized in table 2.

Particularly, in the case of the Chapel, the causes determining the whitening of the wall of the counterfaçade are indicated in table 2 from 1 to 5 and 7. In fig. 5 it has been documented the damage caused by the crystallization of gypsum beneath the pictorial layer.

⁵ Dario CAMUFFO, Patrizia SCHENAL, *Microclima all'Interno della Cappella: Scambi Termodinamici tra gli Affreschi e l'Ambiente*; Domenico ARTIOLI, Maurizio MARABELLI, Costantino MEUCCI, *Fattori Ambientali e Stato di Conservazione dei Dipinti murali della Cappella degli Scrovegni*; Guido BISCONTIN, Silvio DIANA, Vasco FASSINA, Maurizio MARABELLI, *Indagine sugli Inquinanti Atmosferici all'Interno e all'Esterno della Cappella*, in: *Bollettino d'arte*, 63, seconda serie speciale: Giotto a Padova, 1982, pp. 119-220; pp. 59-67; pp. 69-110.

⁶ Ernesto BORRELLI, Maurizio MARABELLI, Paola SANTOPADRE, *Studio dello Stato di Conservazione e Messa a Punto del Sistema di Pulitura*, in: *BASILE, Scrovegni (note 2)*, pp. 106-114.



Fig. 2. Padua, Scrovegni-Chapel, entrance wall: The Last Judgement, with the kneeling donor next to the Blessed (after the restoration).

1. Sulphation of calcium carbonate
2. Crystallization of soluble salts
3. Microcracking and/or pulverization of pictorial layer
4. Microcracking and/or pulverization of a protective/fixative product used for the pictorial layer
5. Chromatic alteration and fading of the superficial protective/fixative product
6. Re-crystallization of calcium carbonate on the surface
7. Oxalate patina formation
8. Microbiological attack

Table 2. Possible causes of whitening – yellowing phenomena of the surfaces.

Following these researches, between the years 1995 and 1996 a campaign of measurements relative to the air quality comparable to the one performed in the years between 1977 and 1979 was conducted. It detected that the levels of internal s.p.m. were reaching higher levels in the summer time and during the day (up to 200 – 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

The maximum concentration of sulphur dioxide had fallen to 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ from 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while concentration peaks of nitrogen dioxide reached during the winter levels of about 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nitrogen dioxide was surely linked to external pollution due to diesel car traffic, with medium/high levels of the semi-hourly averages and peaks between 30 and 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (see fig. 6).

From these results it was possible to assume that the problems linked to pollution remained still in place whilst, in comparison with a decrease of sulphur dioxide, a significant amount of nitrogen dioxide was present.

At the end of the survey conducted on air pollution and microclimate, measurements of indoor/outdoor air exchanges were carried out via the so called sulphur hexafluoride methodology.⁷ The latter confirmed the conclusions that were reached during the years 1977 – 1979, pointing out a daily maximum air exchange rate of 9 volumes (in the summer and at time of visitors' entry, see table 3).

From the number of these studies the need to find an adequate solution seemed to be emerging, with the aim of preserving the pictorial cycle of Giotto from the decay, together with the other works of art inside the Chapel, without drastically hindering or reducing the entry of visitors. Specifically, it was necessary that acidic s.p.m. and gases would diffuse inside the least possible and that thermo-hygrometric damaging gradients would be hindered. It seemed also clear that it was necessary to stop the infiltrations of rain water through a normal activity of ordinary man-

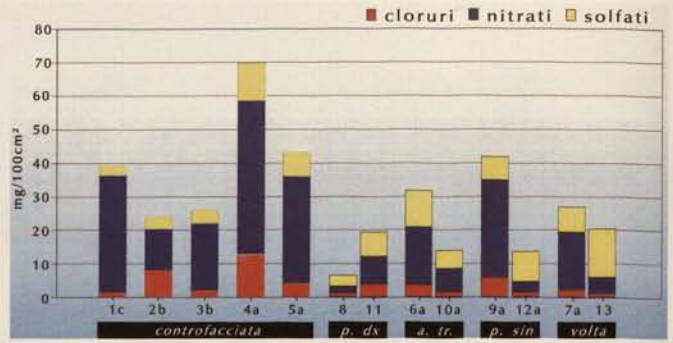


Fig. 3. Padua, Scrovegni-Chapel: Concentration of anion present in the extraction pads of soluble salts applied on the walls.

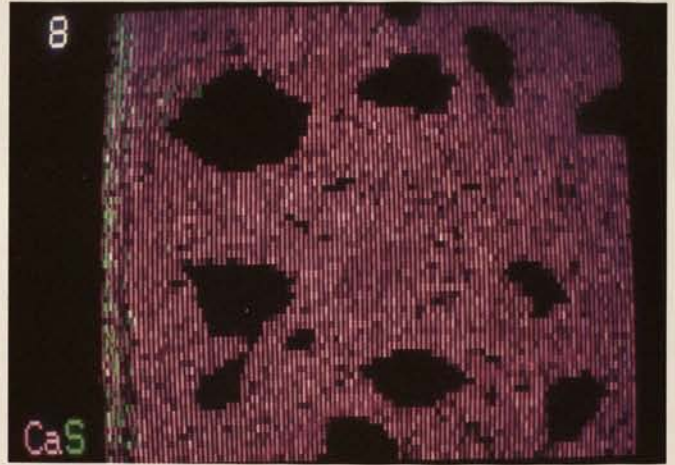


Fig. 4. Padua, Scrovegni-Chapel: X-Ray map at SEM + EDS of calcium (pink) and sulphur (green), 80x.

agement of the building – something that was made possible by renovating the roof, treating the outside walls with a water repellent formula and constantly monitoring the levels of water infiltrated in the underground area of the Chapel, in order to keep capillary raise front in the walls within a security level.

It was confirmed that the visitors played a negative role in producing water vapor from breathing; hence, it was concluded after long and accurate evaluation on behalf of the interdisciplinary Commission for the Restoration of the Scrovegni Chapel, which had been constituted in the meantime, to reach a solution which was without any doubt innovative, because founded on a “philosophy” of intervention that was “controlling” the ambient, i.e. which meant to ameliorate and improve the situation through a series of coordinated interventions circumscribed but

Table 3. Indoor – outdoor air exchange rate determined with the methodology of sulphur hexafluoride.

Operating conditions	In visitors' absence (Closed door)		In visitors' presence (Open door)	
	07-25/28-1995	01-16/19-1996	07- 25/28-1995	01-16/19-1996
Time of air renewal	33-34h.	31-32h	13-14h	23-24h
Number of air exchanges/hourly	0.224	0.203	0.378	0.310
Number of air exchanges/daily	5.4	4.9	9.1	7.4



Fig. 5a. Padua, Scrovegni-Chapel: Stratigraphic section observed at transmitted light, parallel nicols, ob. 2.5x. Gypsum crystallization is visible under the pictorial layer.

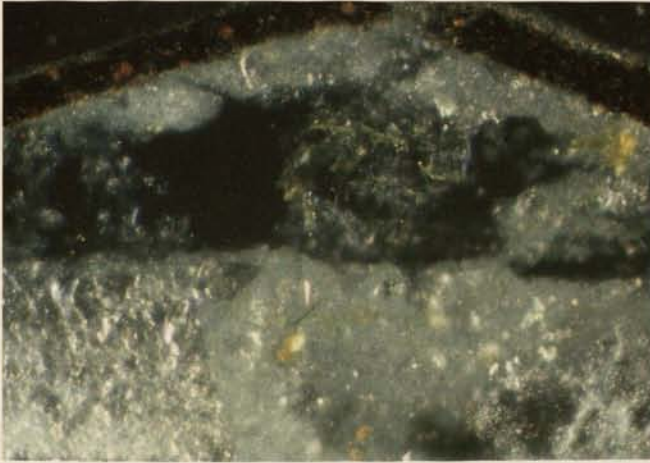


Fig. 5b. Padua, Scrovegni-Chapel: Stratigraphic section observed at transmitted light, crossed nicols, ob. 10x. Gypsum crystallization is visible under the pictorial layer.

targeting. This appeared to be much better than modifying the microclimate drastically with an intervention of a radical and “forceful” type (shortly what is called, synthetically, environmental regulation through the installation of an air conditioning unit forcing the indoor microclimate). Hence it was decided to close the main entrance (at that time the only one) of the façade and to create at the same time an ambient-entrance (CTA) by the North side of the Chapel just in conjunction with the ancient entrance door of the Scrovegni Palace, that was bricked up for security reasons after the demolition of the same structure, but that could possibly be re-opened. This was suggested in order to better manage the number of visitors and for higher protection of the Chapel from thermo-hygrometric gradients and from pollution agents coming from the outside.

Years running from 1999 through 2000

The CTA was realized between 1999 and 2000; it consists of a steel and glass structure and is meant to prevent that the external air might reach the inside of the Chapel during the phases of visitors’ entrance and exit, thanks to how it’s divided into com-

⁷ Measurements registered by A. Ventura (IMIT Co. – Novara).

⁸ Cesare BONACINA, Alessio GASTALDELLO, Piercarlo ROMAGNONI, Antonio G. STEVAN, Modellistica di Previsione per il Controllo del Microclima: l’Uso della CFD, in: BASILE, Scrovegni (note 2), pp. 39–44.

partments, that is into 3 rooms: an entrance area/waiting room, a filter area which consists of the tunnel entrance/exit from the Chapel and an area leading towards the outside, with automatic sliding doors interlocked. The CTA has an air conditioning unit of its own (fig. 7).

The use of a mechanical ventilation system with thermo-hygrometric control of the air inside the Chapel is linked to the presence of the CTA; the latter, as a matter of fact, by eliminating the air exchange between outside and inside, assures the replenishing of air and compensates the sensitive latent loads due to visitors, especially during the summer time.

The need to plan and implement a unit of air-conditioning plant for the CTA has required a first phase of studies necessary to define all the features of the unit itself, which had to have the goal to be usable and beneficial for a small number of visitors, preserving the wall paintings from pollution agents and from

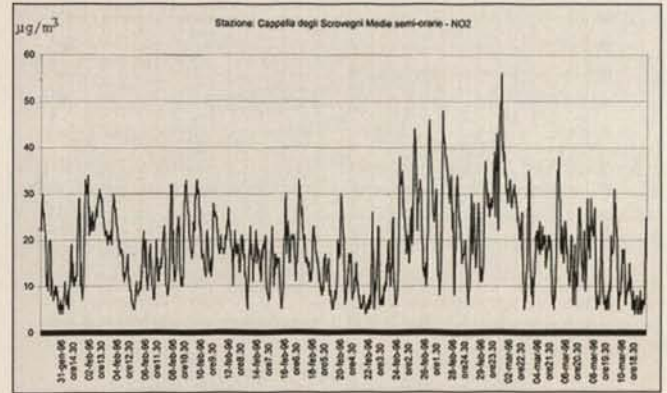
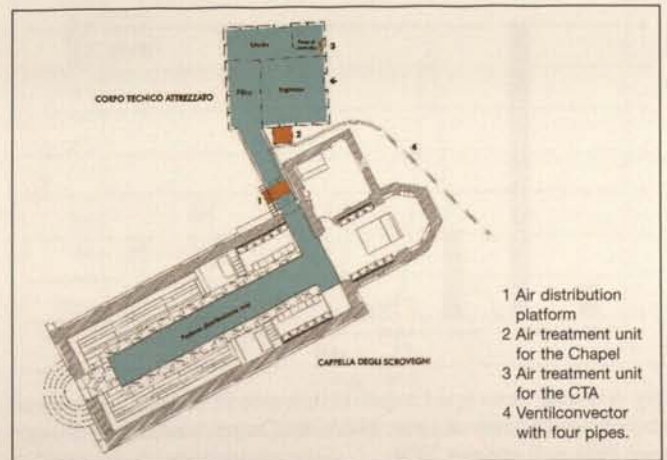


Fig. 6. Padua, Scrovegni-Chapel: Trend of semi-hourly average values of nitrogen dioxide (NO₂) registered during the period between January 31, 1996 – March 10, 1996.

consequences of too much pronounced thermo-hygrometric variations.

From the exam of the data taken from the campaign of continuous monitoring before the realization of the CTA, information has been gathered on the behavior of the Chapel with respect to the variable management operations and on the effective conditions surrounding the artifact, whilst a preliminary assessment of the unit has been performed by numerical thermo-fluid-dynamic simulations (CFD).⁸ These simulations, as

Fig. 7. Padua, Scrovegni-Chapel and Corpo Tecnico Attrezzato, map: the three compartments of the CTA indicated as ingresso (entrance), filtro (filter) and uscita (exit).



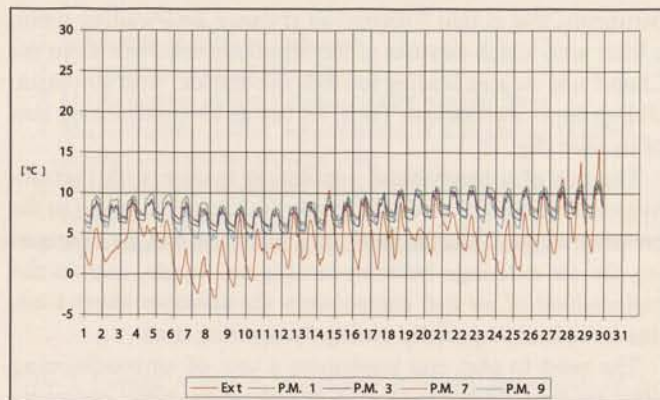


Fig. 8a. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of temperature and humidity levels relative to air registered by the monitoring system before the installation – February 1996, right wall.

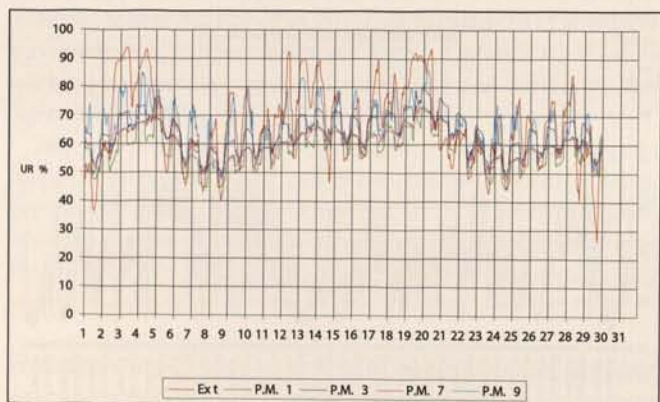


Fig. 8b. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of temperature and humidity levels relative to air registered by the monitoring system before the installation – February 1996, left wall.

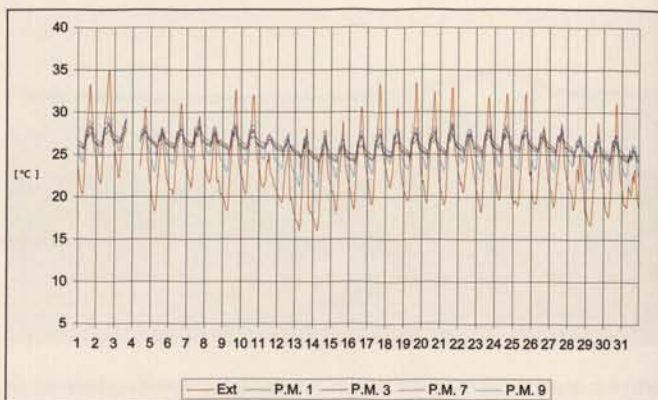


Fig. 10a. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of temperature and humidity levels relative to air registered by the monitoring system before the installation – August 1996, right wall.

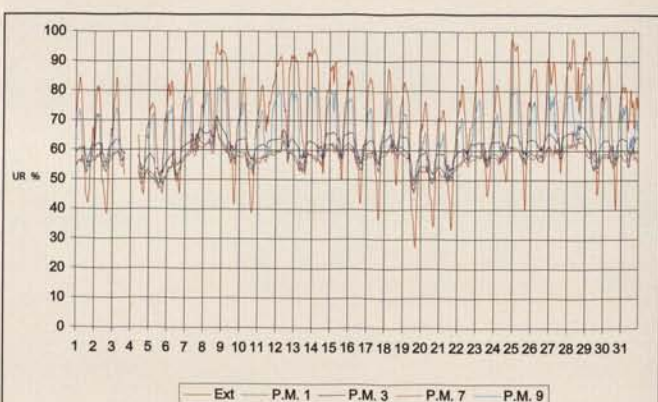


Fig. 10b. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of temperature and humidity levels relative to air registered by the monitoring system before the installation – August 1996, left wall.

demonstrated in other cases,⁹ constitute a valid instrument which completes the information acquired from the experimental campaign; through this method, phenomena have been studied that cannot be described uniquely with discrete measurements, as for example with the air displacement map in confined areas.

It is fundamentally important for preventive conservation to know about the environmental conditions in proximity of the works of art,¹⁰ knowledge that should refer to a period of time sufficiently ample. It is necessary, as a matter of fact, to detect

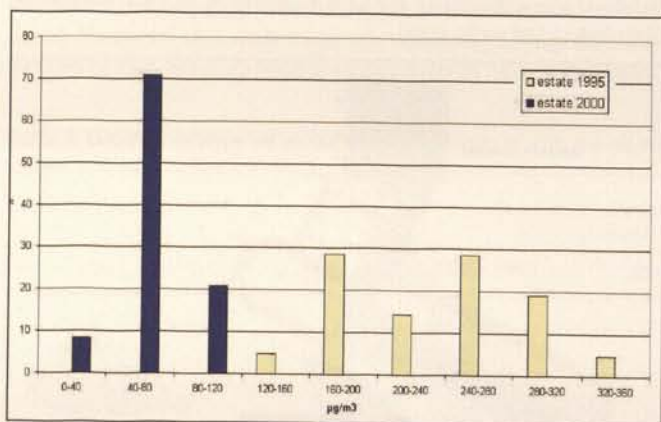


Fig. 9. Padua, Scrovegni-Chapel: Distribution of relative frequency of daily concentrations of s.p.m. inside the Chapel: comparison of summer 1995 with summer 2000.

all variations at medium and long term, indispensable to build up a microclimatic behavior reliable for the works of art, apt to describe the gradients of surrounding environmental conditions and suggesting ways of managing the environment. Therefore, together with continuous monitoring of the temperature and relative humidity of the air and of the superficial temperatures of the walls, it was also necessary to carry out measurements of the number of air exchanges in conditions near to those after the intervention, that is with windows and entrance door closed. These measures, based on the decay of the concentration of an

⁹ L. AGNOLETTO, Paolo BAGGIO, Piercarlo ROMAGNONI, D. ROSSI e Antonio G. STEVAN, Studio Numerico del Comportamento Termico e Fluidodinamico dell'Aria Ambiente all'Interno della Basilica di S. Francesco in Arezzo per la Conservazione degli Affreschi di Piero della Francesca, in: Atti della 3^a Conferenza Internazionale sulle Prove non Distruttive, Metodi Microanalitici e Indagini Ambientali per lo Studio e la Conservazione delle Opere d'Arte, Viterbo, 4-8 ottobre 1992, pp. 1117-1129; Charles E. BULLOCK, Frank PHILLIP, Walter PENNATI, The Sistine Chapel: HVAC Design for Special-Use Buildings, in: ASHRAE Journal, 38, 1996, n. 4, pp. 49-58.

¹⁰ Vasco FASSINA, Antonio G. STEVAN, Influenza dell'Ambiente sui Fenomeni di Alterazione dei Dipinti Muralesi, in: Le Pitture Muralesi (edited by Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro), Centro Di, Firenze 1990, pp. 203-216; SYNCRO Advanced Engineering Consulting, La Cappella degli Scrovegni-Misura dei Parametri Fisici Ambientali, Rapporti al Comune di Padova, marzo 1997 e gennaio 2002.

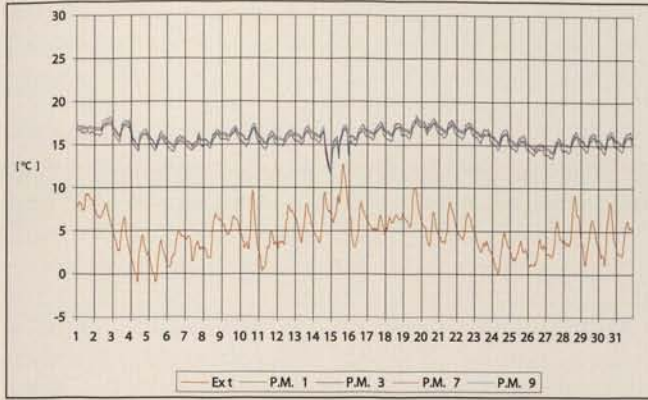


Fig. 11a. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of the air temperature and humidity values registered by the monitoring system after the CTA has been installed – January 2003, right wall.

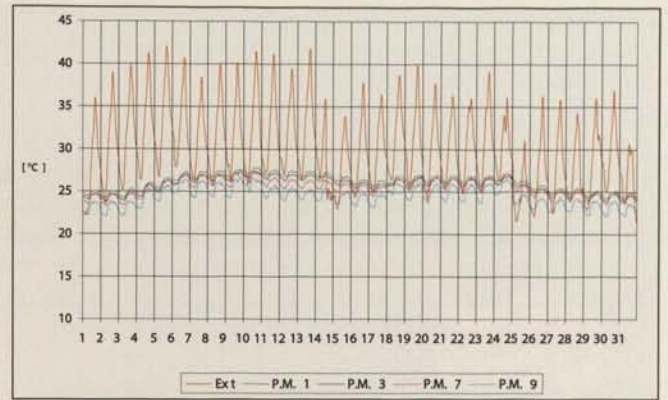


Fig. 12a. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of the temperature and humidity values relative to the air registered by the monitoring system after the CTA has been installed – August 2003, right wall.

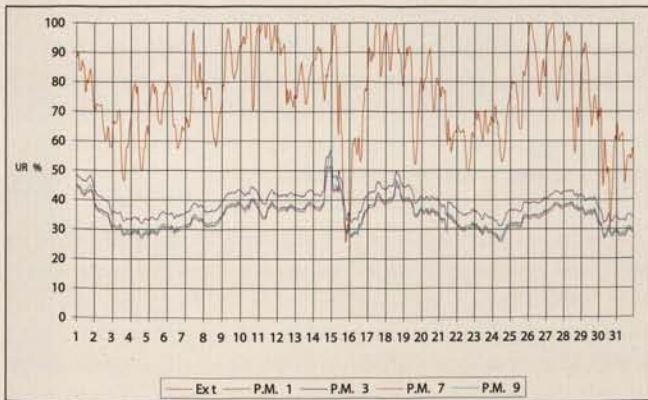


Fig. 11b. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of the air temperature and humidity values registered by the monitoring system after the CTA has been installed – January 2003, left wall.

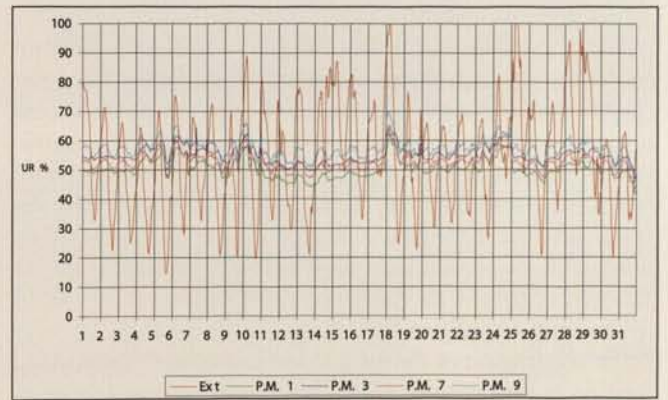


Fig. 12b. Padua, Scrovegni-Chapel: Diagrams of the temperature and humidity values relative to the air registered by the monitoring system after the CTA has been installed – August 2003, left wall.

inactive gas tracer (SF_6), have shown, as mentioned before, that the number of air exchanges is more or less equal to 9 daily air exchanges when the door is periodically opened and decreases to about 5 when the door is kept closed (see table 3).

The need to limit the diffusion of pollution agents from the outside and at the same time to maintain ideal conditions for the visitors was determining in finding a way of managing the Chapel.

Under these circumstances, that means with a reduced number of visitors, we can reasonably assume that the conditions that take place seem to be substantially similar to those detected at closed door.

The rate of air renewal that can be expected (estimating the volume of the Chapel to be 2500 m^3) results being equal to: Air Mass Flow $= 2500 \times 5 / 24 = 521 \text{ m}^3/\text{h}$.

We can now consider that, if on the one hand the external air flow necessary to ensure the comfort of a person in quiet and good conditions is $30 \text{ m}^3/\text{h}$, the total air required to remove the heat generated and the water vapor from a visitor breathing, without introducing high thermal gradients, is about $75 \text{ m}^3/\text{h}$. Hence, without a mechanical ventilation system, the number of people that can stay in the Chapel at the same time results being very limited (7–8 persons). Considering people stopping in for about 15 minutes in the Chapel, there would be an hourly flow of about 30 persons, which is absolutely insufficient to satisfy the request of getting in.

Therefore, a mechanical ventilation plant with a filter system providing thermo-hygrometrically treated and filtered air, seems wholly justified and carries the following advantages:

- Allows a bigger number of visitors
- Controls the air quality inside the Chapel (which would otherwise be determined by air exchange with the exterior resulting from natural ventilation)
- Removes part of the thermal radiation load during the summer time
- Stabilizes water vapor content indoors.

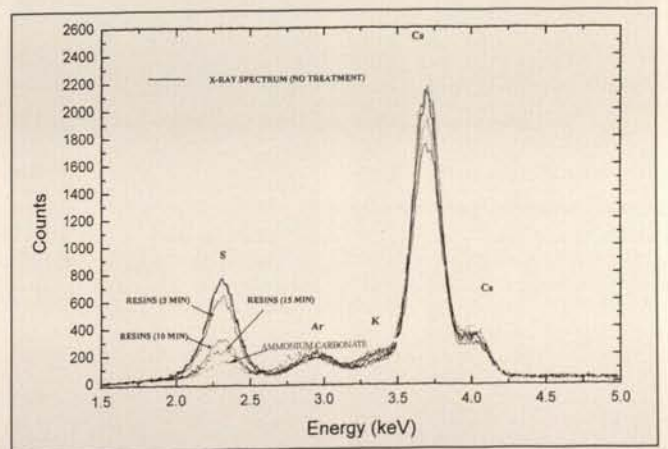


Fig. 13. Padua, Scrovegni-Chapel: XRF Spectra of sulphur relative to different desulphating experiments.

There haven't been any contra-indications by installing a ventilation plant (a problem solving already successfully experimented in monumental buildings), as long as its adoption would appear to be completely reversible and several precautions can be taken – dictated by forethought and considering the special features of the building, that is:

- Indoor conditions should not be substantially altered
- Excessive air velocities should not take place as these could modify the thermo-hygrometric stability of the painted surfaces and should not cause movement and scavenging of s.p.m. on the painted surfaces.

The first feature aimed at preventing that the air injected would result in being too different from the average one in the inside.

The second one wanted to prevent the inlet of air by mechanical ventilation from causing an air velocity near the frescoed surfaces that could significantly alter the thermal and mass exchange coefficients.

In addition, considering the difficulty of uniformly distributing the emitted air while on the meantime respecting the architectural constraints, it was thought to be cautious not to exceed an air flow of 1 volume/hour.¹¹ Thus, even if the distribution was not uniformly taking place, the air velocity would have remained nonetheless very contained (<0,1 m/s), except for obviously close to the feed vents. By limiting the number of air exchanges, there was also the reasonable certainty that the emission of treated air would not cause sudden alterations of environmental conditions.

The temperature of the air injected inside the Chapel would not have to vary too much from the average seasonal temperature detected inside the Chapel; a difference of more or less 4–5°C respectively during the summer and winter season was allowed.

As seen before, a duly cautious approach to the effects the installation might produce on the indoor micro-climate has suggested, at least in an initial phase, to reduce the temperature difference between the injected air and the average seasonal conditions existing inside the Chapel.

Taking into consideration, on the basis of the current available data, that during the summer season the temperature within the Chapel varied between 27 and 30°C and during the win-

ter period between 6 and 9°C (temperature destined to rise when due to the different methods of managing opening and closure of the door would not have been frequent), temperature of air introduced had to vary between 23 and 26°C during the summer time and between 10 and 13°C during the winter season. This is an indicative evaluation and susceptible to changes based on information obtained from samplings now under way.

The relative humidity values measured inside the Chapel before the installation were between 40% and 70% with peaks of 80%. (see fig. 8 and 10).

The air-conditioning system of the CTA would also had to reduce these peaks and stabilize values inside the Chapel within a range slightly narrower than that taken into examination.

Based on what was mentioned previously, it was deemed necessary to limit to 25 the number of visitors into the Chapel, with a maximum number of 35 persons.

Thus, it allowed not to go beyond 1 air exchange per hour, equal to 2.500 m³/h during visitor's peak hours and keep it to about 0,75 air exchanges per hour with 25 admissions into the Chapel. Please check the annex with all the technicalities regarding specific plants adopted for the CTA, and the installation put in for treatment, filtration (in order to eliminate s.p.m. and acidic gases) and air circulation.

Following the realization of this structure in the year 2000, an additional campaign of supervision of pollution agents underwent. Particularly, comparing the values of frequency distribution relative to the daily concentrations of s.p.m. into the Chapel in the summer season with those of the preceding years, it can be seen that there is a strong decrease of such pollution agent (see fig. 9).¹²

As for the installation, its management during the first year of working had to evaluate how responsive it was to the environment, in relation to the parameters of regulation of the installation itself.

In collaboration with the Department of Technical Physics of Padua, air velocity was detected at different air mass flows and also temperature and relative humidity of the environment for different air mass flows.

It was conceivably regarded that the main required feature of operation was successfully satisfying, that is reaching a balance of temperature and humidity of the air between the CTA and the Chapel, though slightly modifying the regulating parameters. A more accurate assessment of the functioning of the installation was conducted utilizing the continuous monitoring system of environmental conditions.

By comparing the new data with the information taken before the CTA was installed, it can be pointed out that it is possible to control effectively the thermo-hygrometric parameters inside the Chapel even during the summer period that presents critical conditions, reaching at the same time a significant improvement of the well-being of the visitors (see fig. 11 and 12).

Fig. 14a-b. Padua, Scrovegni-Chapel, The Betrothal of the Virgin, Detail: the light blue background before (a) and after the cleaning (b).



¹¹ Garry THOMSON, *The Museum Environment*, London 1986.

¹² Maurizio MARABELLI, Paola SANTOPADRE, Vasco FASSINA, *Rilevazioni degli Inquinanti Atmosferici prima e dopo l'Installazione del Corpo Tecnologico Attrezzato*, in: Basile, Scrovegni (note 2), pp. 45–51.

¹³ Maurizio MARABELLI, Marcella IOELE, Domenico ARTIOLI, Alfredo CASTELLANO, Roberto CESAREO, Giovanni BUCCOLIERI, Stefano QUARTA, Cesare CAPPIO BOLLINO, *La Distribuzione dei Solfati prima e dopo l'Intervento di Restauro*, in: *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 141–150.



Fig. 15a. Padua, Scrovegni-Chapel, The Angel at the Tomb and the Noli me tangere: after the cleaning.

Fig. 15b. Padua, Scrovegni-Chapel, The Angel at the Tomb and the Noli me tangere: before the cleaning.



Moreover, in the previous years, and most of all at time of restoration of the wall paintings (June 2001 – March 2002), a series of analyses and researches have been promoted bearing in mind two goals: conservation and study of pictorial techniques.

In particular, two XRF portable equipments have been utilized, calibrated to measure sulphur and chlorine on wall paintings: this technique has allowed to map the distribution of the two pollutants on many panels before and after the cleaning.

It was hence possible to determine in a not destructive way quantities of sulphur on the surface respectively before and after the application of pads of a saturated solution of ammonium carbonate and respectively of a strong anionic resin (Akeogel – Syremont), with different times of application. From the spectra reported in fig. 13, it is evident the extracting capacity of the two treatments.¹³

The contemporary extraction with organic solvents and the subsequent analysis by infrared spectrophotometry (FTIR) and pyrolysis plus gas-mass, regarding areas treated before in previous restorations, have pointed out the presence of acrylic resins, polystyrene, and polyvinyl acetate as fixatives, whose microcracking has brought to the development of superficial whitening.

At the same time it has been pointed out by X-ray diffraction that gypsum had been utilized as a consolidating agent in previous restorations.¹⁴ At last, it was applied the spectrophotometric technique (spectrophotometer X-Rite) both in studies of the pictorial technique and to characterize the surfaces before and after the cleaning phase.

In fig. 14 it is shown a detail of the sky in the painting *The marriage of Mary and Joseph* before and after cleaning and in table 4 the trichromatic values measured on different types of blue are reported. By comparison we could come to the conclusion that this color has gained saturation after cleaning, by taking off a dark layer brushed on and juxtaposed, so increasing the blue component of the reflected light (decrease of *b*).¹⁵ It remains only to be added that the Chapel is still undergoing per-

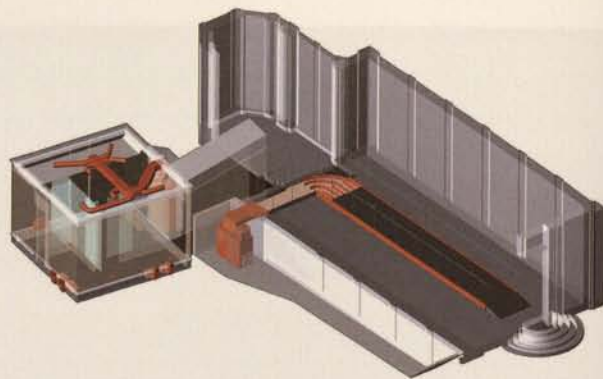


Fig. 16. Padua, Scrovegni-Chapel: Scheme of the air distribution system inside the Corpo Tecnico Attrezzato and the Chapel.

manent monitoring relative to the microclimate and to the quality of the air and that with an annual deadline a systematic close-up assessment is being performed (by the restorers) with regards to the state of conservation of the wall paintings in addition to the colorimetric control of the surfaces.

Conclusions

The overview that emerges from the information reported highlights some fundamental basic points and guidelines relative to the environmental research for the realization of an installation of this nature:

- The need to characterize the environment from a chemical and physical point of view
- The need to monitor the state of conservation by non-destructive surveys, so as to allow checking and comparisons in the long run
- The utility to study issues of restoration through a comparison and the integration between the non-destructive surveys and the micro-destructive ones
- The need to implement a project that would protect the environment before proceeding to the real restoration per se
- The opportunity to check and optimize in a long term installations that have been realized.

¹⁴ Maurizio MARABELLI, Paola SANTOPADRE, Marcella IOELE, Giuseppe CHIAVARI, Silvia PRATI, Studio dei Materiali di Restauro e dei Prodotti di Alterazione tramite Analisi Microdistruttive, in: BASILE, Scrovegni (note 2), pp. 132-140.

¹⁵ Marcella IOELE, Maurizio MARABELLI, Misure Colorimetriche sui Dipinti Murali prima e dopo l'Intervento di Restauro, in: BASILE, Scrovegni (note 2), pp. 151-155.

¹⁶ Antonio G. STEVAN, Progetto Esecutivo degli Impianti Meccanici, Elettrici e Speciali della Cappella degli Scrovegni e del Corpo Tecnico Attrezzato, Padova 1998.

¹⁷ Installation project data. *Outside conditions for reference*: Lowest winter outdoor temperature -5°C, Average outdoor winter relative humidity 80%, Highest summer outdoor temperature +33°C, Average outdoor summer relative humidity 50% - *Indoor CTA project data*: Indoor winter temperature (15 ±1)°C, Indoor winter relative humidity (50 ±5)%, Indoor summer temperature (26 ±1)°C, Indoor summer relative humidity (50 ±5)% - Injected air flow 50 m³/ (h · person). Other information: Highest number of concurrent visitors' attendance in the CTA = 50 people; Highest number of concurrent visitors' attendance in the Chapel = 25 people; Thermal load due to lighting = 10W/m² floor; CTA plant operating time = 12 h/day; Chapel plant operating time = 24 h/day.

Measurement area	color	before cleaning			after cleaning		
		L	a	b	L	a	b
<i>Mary and Joseph Wedding</i> azurite of the sky with a tendency to purple	Dark blue	30.61	0.55	-23.40	32.07	2.22	-29.89
<i>Lazarus' Resurrection</i> azurite of the sky	Dark blue	33.83	-2.01	-17.92	35.82	-1.43	-25.66
<i>Arrival at Jerusalem</i> azurite of the sky	Blue	40.73	-3.13	-16.92	38.63	-2.71	-22.15
<i>Last Judgment</i> 1 st section, left side azurite of the sky between the torch and the angel's banner	faded blue	42.52	-3.15	-7.97	41.67	-4.05	-14.79

Table 4: Color coordinates of the system CIELab; Lightness (L), red-green component (a) and yellow-blue one (b) of the blue sky before and after cleaning.

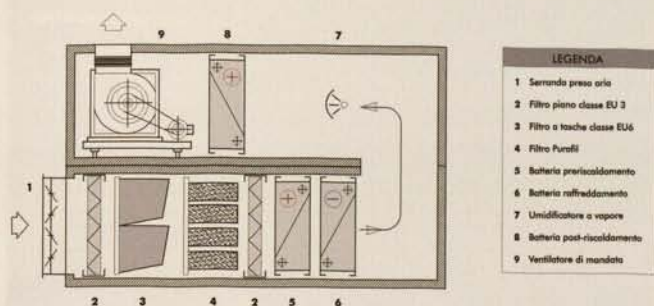


Fig. 17. Padua, Scrovegni-Chapel: Scheme of the air treatment unit, showing the intaking air shutter (1), the filtering air system (2,3,4), the pre-heating battery (5), the cooling battery (6), the dehumidifier (7), the post-heating battery (8), the inflow fan (9).

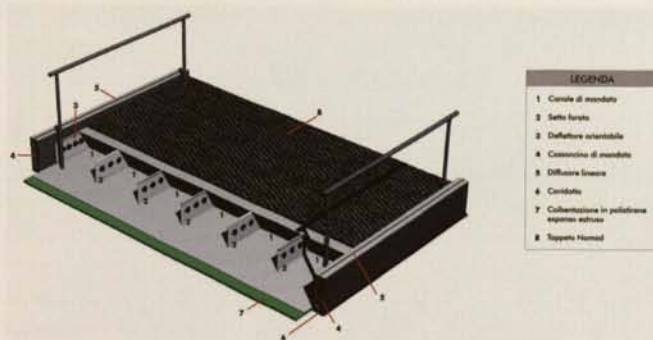


Fig. 19. Padua, Scrovegni-Chapel: Axonometric cutaway of the air distribution platform, showing the inflow channel (1), the pierced partitions (2), the steerable deflectors (3), the discharge ducts (4), the linear diffusers (5), the cables of the electrical plant (6), the lagging (7), and the 3M Nomad carpet (8) are indicated.

Technical annex

Description of the installation

The air conditioning installation and air filtering unit of the CTA and the system of ventilation of the Chapel have been realized between the years 1999 and 2000 before the restoration of the pictorial cycle, following the above mentioned guidelines.¹⁶ The features of the installation project are herewith indicated.¹⁷

The type of installation adopted is an external air type; the unit treating air for the CTA is located externally adjacent to the structure, protected by an appropriate closet. The treating unit at disposal of the Chapel is positioned in the area beneath the entrance tunnel of the Chapel itself, in the underground space accessing to the crypt (fig. 16).

The two air handling units (fig. 17) each have a maximum air flow of 2500 m³/h and are equipped with a variable air flow fan that can be adjusted to the effective conditions presently in state.

Before the thermo-hygrometric treatment, the air goes through a filtering section consisting of panel filters, high efficiency bag filters and special *Purafil* filters with active charcoal and activated alumina plus potassium permanganate to remove gaseous pollutants at high and low molecular weight. The filter-

ing section is provided of manostatic control to signal out possible obstruction.

The treatment section is made of a heating cell fed by hot water, a cooling one fed by chilled water, a vapor humidifying section produced by a flooded electrodes generator, and a post-heating cell fed by hot water.

The air distribution in the CTA takes place via a micro-perforated false ceiling, and the chamber enclosed by the covered and false ceiling has the function of air inlet.

To prevent uncontrolled air flows from one area to another when the doors are opened, pressure gradients amongst the various areas are created through the air extraction system, controlled by the opening and closing switches of the sliding doors separating the areas.

Renewal and subsequent expulsion of air take place through the raised floor sections by means of walkable grids.

The underfloor space is divided into compartments next to the three areas into which the CTA is divided, forming three distinct extraction areas, each equipped with two variable-speed fans so that, by automatically excluding two of the fans, it is possible to obtain a pressure gradient between two areas put in connection when opening the doors.

Air distribution inside the Chapel is led by means of a low platform, with slot diffusers along both sides. Fig. 19 shows a cutaway view of the platform, where the main elements are

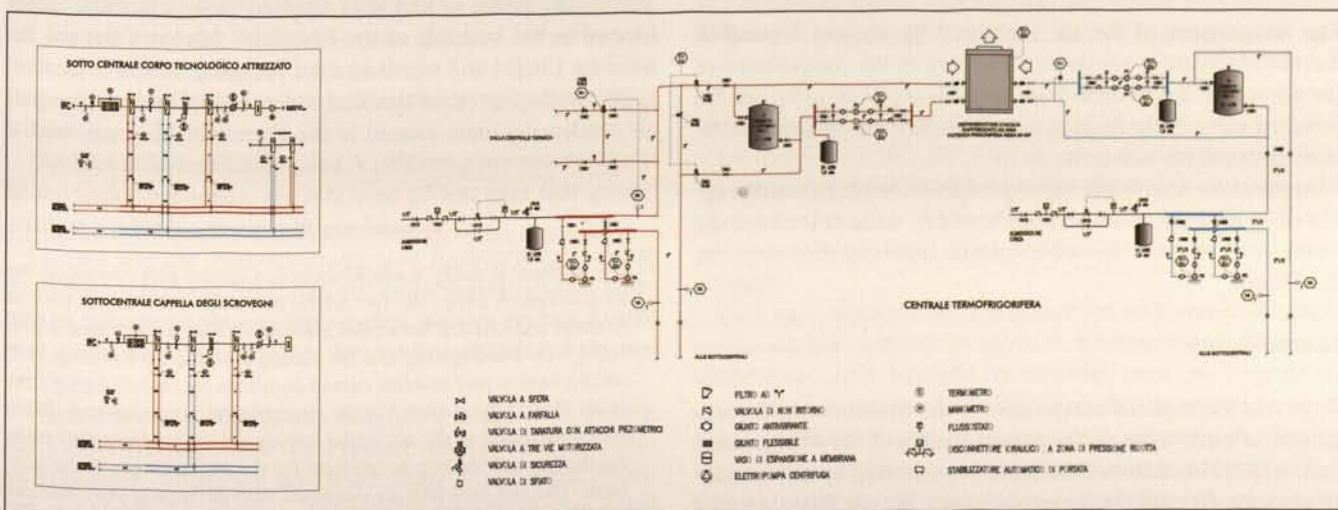


Fig. 18. Padua, Scrovegni-Chapel: Functional scheme of the mechanical plants.



Fig. 20a. Padua, Scrovegni-Chapel, The Virgin's Return Home: before the cleaning.



Fig. 20b. Padua, Scrovegni-Chapel, The Virgin's Return Home: after the cleaning.

located. Specific areas of the platform are described in the note below.¹⁸

Due to the fairly small air flow injected in relation to the volume of the Chapel there is no need to perform a mechanical extraction. The air goes out through the doors and window slots thanks to a slight over pressure to which the environment is kept, avoiding external air penetration.

Regulating the installation

Installation is regulated by direct digital control (DDC), which makes it easy to operate the equipments.

The control system is interfaced with the management system of the technological plants and is equipped with a local terminal.

The CTA thermo-hygrometric treatment of the air is regulated in the following way.

Winter season

The temperature of the air, measured by sensors located in the environment, is regulated according to the temperature of the air inside the Chapel. This is achieved leveraging on the powered valve of the heating unit to balance the climatic conditions between the two areas.

At the same way, water vapor production is continuously regulated on the basis of the relative humidity value of the environment, so as to reach the same specific humidity that runs into the Chapel.

Summer season

To ensure the required temperature in the environment, the regulation is made through the powered valve of the refrigeration unit, which also dehumidifies, and is controlled by the humidity sensors. In case the temperature of the air flow injected seems to be lower than the required one due to the dehumidification, the post-heating unit will start working.

Regulation of the air treatment unit takes place by handling in advance the temperature conditions inside the Chapel, corresponding to the conditions observed when there are no visitors inside.

The thermo-hygrometric features of the air flow are regulated in a cascade sequence, on the basis of the values measured by the temperature and humidity sensors inside the Chapel. Regulation of the air treatment unit takes place by handling in advance the temperature up to the minimum acceptable value and then by increasing the fan air flow.

The control system of the mechanical installation provides to detect the inflow and outflow temperatures of water and air, incoming and outgoing air humidity values, differential pressures existing in the filters, the functioning state of the variable air flow fan, and also the operational state of the air extraction fans.

Heating and chilling plant

The heating power of 95 kW is supplied by the electrical cables located in the building of the Eremitani Museum not too far from the Chapel and where also the pumping station is located.

The production of refrigerated water is supplied by a group of air condensing units located in the Eremitani Museum, with a

¹⁸ The platform is made of a head section, a central part containing the air distribution ducts, and two lateral discharge ducts and is built of modular sections that have been assembled. The head section is provided with a connecting end for joining it to the air handling unit, and the central part contains curved partitions for conveying the flow of air to the lateral duct. Via the steerable deflectors we can obtain the equalization of the air intake introduced in the ducts thus making the flow of feeding air uniform for the entire length of the platform. The slot diffusers are equipped with deflecting slats that can be adjusted as to individually direct and regulate the flow of air. The entire structure sits on expanded extrusive polystyrene panels that also thermally insulate the platform from the floor.

refrigeration capacity of 64 kW. This group contains a section for the recovery of condensation heat and consists of a pre-assembled unit that also contains the storage tanks and the primary cold and hot circuits pumps.

The thermo-conductor fluid consists of a mixture of water and glycol in a way that, if necessary, it dehumidifies efficiently, also at relative low dew point temperature values. For this purpose, the set point of the chiller is remotely adjustable, according to weather conditions of the seasons.

The hydraulic network that feeds the installation, connecting the Eremitani Museum with the Scrovegni Chapel, is built with insulated polyethylene tubing running underground through a covered trench. Fig. 18 shows the functional diagram of the mechanical installation.

Zusammenfassung

Die Scrovegni-Kapelle.

Interdisziplinäre Untersuchungen und Maßnahmen zum Schutz vor Umwelteinflüssen

Nur 8 Jahre nach Beendigung der letzten Restaurierung zeigten die Malereien in der Kapelle im Jahr 1971 bereits makroskopische Verfallserscheinungen.

Bei der ausgeführten Restaurierung handelte es sich aber nicht etwa um eine mangelhafte Restaurierung, sondern die Notwendigkeit regelmäßiger Kontrollen und Wartungsarbeiten am Gebäude und der Umgebung außer und vor den konservierenden Eingriffen an den Malereien wurden damals und seither immer unterbewertet. Insbesondere wäre es für die Ziele der Konservierung von Bedeutung gewesen, sich die Folgen der Umweltverschmutzung auf den Erhaltungszustand der Fresken zu vergegenwärtigen, wenn man beachtet, dass seit der Restaurierung durch Leonetto Tintori und der vorausgegangenen Restaurierung mehr als 60 Jahre vergangen waren.

Die Schäden an der Kapelle nach dem Erdbeben in Friaul 1976 bewegten die verantwortlichen Denkmalschützer beim ICR (Zentralinstitut für Restaurierung Rom) um Hilfe für den Malereizyklus von Giotto anzufragen, um eine korrekte Restaurierung zu gewährleisten. Und tatsächlich gab das Institut dem Problem der Konservierung ein völlig innovativen Ansatz, indem es die bisherige traditionelle Praxis veränderte, die Eingriffe auf das Artefakt vorsah, ohne die Umgebung zu berücksichtigen, während jetzt auch die Umgebung und die Anpassung des Gebäudes bei der Restaurierung berücksichtigt werden.

Die Methode der Planung und Ausführung der wissenschaftlichen Untersuchungen, die sehr weit gefasst aber sehr gezielt erfolgte, ist bis heute ein gültiges Modell.

Ebenso war die Konservierung sehr fortschrittlich, indem die Arbeitsschritte in Einheiten von einfachen bis zu sehr komplexen Schritten aufgegliedert wurden und der nächste Schritt erst nach der Verifizierung des vorhergehenden Schrittes erfolgte.

Nach den etwas einfacheren Eingriffen in die Verbesserung der Umweltbedingungen der Fresken (abgeblendete Schutzverglasungen, Austausch der Beleuchtung etc.) folgten Arbeiten zur Gebäudesanierung und zuletzt die Installation eines Filters (CTA – Corpo Tecnologico Attrezzato) zwischen Gebäudeinnerem und Außenwelt. Dies war der umfangreichste

und innovativste Eingriff. Zum ersten Mal wurde dieses System hier für die Kapelle konzipiert, die Realisierung / Umsetzung folgte dann tatsächlich erst nachdem es für das „Letzte Abendmahl“ von Leonardo da Vinci in Mailand bereits installiert war.

Nach circa einem Jahr der Inbetriebnahme dieses Filters konnte die neue klimatische Situation innerhalb des Gebäudes, die einer kontinuierlichen messtechnischen Überwachung unterlag, als ideal bewertet werden. Nach ungefähr 20 Jahren waren somit endlich die Voraussetzungen dafür geschaffen, durch direkte Eingriffe am Malereizyklus den sich gravierend verschlechternden Erhaltungszustand zu bremsen, der aus der Umwandlung des bemalten Kalkputzes in Gips mit der Folge einer Zersetzung der Malschicht bestand.

Sommario

La Cappella Scrovegni.

Ricerche interdisciplinari e protezione ambientale

Nel 1971, a soli 8 anni dalla fine dell'ultimo restauro, i dipinti mostravano già macroscopici segni di degrado.

Quello allora effettuato non era stato un cattivo restauro, ma la sottovalutazione della necessità di effettuare ciclici interventi di controllo e manutenzione sull'edificio e sull'ambiente, oltre e prima che sul manufatto, e soprattutto l'affermarsi di un fenomeno dirompente – ai fini conservativi – quale l'inquinamento atmosferico avevano fatto in modo che il deterioramento degli affreschi riprendesse e anzi subisse una inaspettata accelerazione, se si considera che tra il restauro Tintori e il precedente erano trascorsi più di 60 anni.

I danni subiti dalla Cappella a seguito del terremoto che nel 1976 sconvolse il Friuli indusse i responsabili della tutela del monumento a chiedere all'ICR di prendersi cura del ciclo giottesco affinché l'intervento di restauro fosse condotto nel modo più corretto. E, in effetti, l'Istituto diede al problema della conservazione dei dipinti di Giotto una impostazione profondamente innovativa, capovolgendo la prassi tradizionale che prevedeva l'intervento sul manufatto indipendentemente dallo studio e dall'eventuale intervento di adeguamento dell'ambiente e di conservazione dell'edificio, che invece debbono precedere.

Il metodo di programmazione ed esecuzione delle indagini scientifiche, ad ampio raggio ma strettamente mirate, costituisce un modello tuttora valido.

La stessa cosa vale per il modo, articolato e progressivo, in cui sono stati messi in opera i provvedimenti conservativi, dai più elementari fino ai più complessi, ma passando dall'uno all'altro soltanto dopo avere verificato la bontà dei risultati ottenuti.

Così agli interventi di miglioramento ambientale più facilmente attuabili (messa in opera di controvetrate schermanti, sostituzione delle lampade ad incandescenza, etc.) seguirono quelli di risanamento dell'edificio e infine la messa in opera del CTA (Corpo tecnologico attrezzato), una sorta di filtro tra interno del monumento ed ambiente esterno, che rappresenta il tipo di intervento più complesso e innovativo (messo a punto per la prima volta proprio per la Cappella, anche se poi la realizzazione segue a quella del Cenacolo di Leonardo a Milano).

Trascorso circa un anno dalla messa in funzione del CTA, alla fine della quale la nuova situazione ambientale interna dell'edificio, sottoposta a monitoraggio strumentale per verificare l'efficacia dei provvedimenti realizzati, era risultata idonea, si giudicò finalmente possibile, dopo circa 20 anni, intervenire sul ciclo pittorico, interrompendo così il gravissimo processo di deterioramento consistente nella trasformazione dell'intonaco dipinto in gesso con conseguente polverizzazione del colore.

Fig. 21. Padua, entrance to the Scrovegni-Chapel: Corpo Tecnico Attrezzato (2003).



Bibliography

Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni: indagini, progetto, risultati*, Milano 2003.

Edward V. SAYRE, Lawrence J. MAJEWSKI, *Studies for the Preservation of Frescoes by Giotto in the Scrovegni Chapel at Padua. Technical investigation of the deterioration of the paintings*, in: *Studies in Conservation* 8, 1963, pp. 42–54.

Dario CAMUFFO, Patrizia SCHENAL, *Microclima all'Interno della Cappella: Scambi Termodinamici tra gli Affreschi e l'Ambiente*, in: *Bollettino d'arte*, 63, seconda serie speciale: *Giotto a Padova*, 1982, pp. 119–220.

Domenico ARTIOLI, Maurizio MARABELLI, Costantino MEUCCI, *Fattori Ambientali e Stato di Conservazione dei Dipinti murali della Cappella degli Scrovegni*, in: *Bollettino d'arte*, 63, seconda serie speciale: *Giotto a Padova*, 1982, pp. 59–67.

Guido BISCONTIN, Silvio DIANA, Vasco FASSINA, Maurizio MARABELLI, *Indagine sugli Inquinanti Atmosferici all'Interno e all'Esterno della Cappella*, in: *Bollettino d'arte*, 63, seconda serie speciale: *Giotto a Padova*, 1982, pp. 69–110.

Garry THOMSON, *The Museum Environment*, London 1986.

Vasco FASSINA, Antonio G. STEVAN, *Influenza dell'Ambiente sui Fenomeni di Alterazione dei Dipinti Murali*, in: *Le Pitture Murali* (ed. Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro), Firenze 1990, pp. 203–216.

L. AGNOLETTI, Paolo BAGGIO, Piercarlo ROMAGNONI, D. ROSSI e Antonio G. STEVAN, *Studio Numerico del Comportamento Termico e Fluidodinamico dell'Aria Ambiente all'Interno della Basilica di S. Francesco in Arezzo per la Conservazione degli Affreschi di Piero della Francesca*, in: *Atti della 3° Conferenza Internazionale sulle Prove non Distruttive, Metodi Microanalitici e Indagini Ambientali per lo Studio e la Conservazione delle Opere d'Arte*, Viterbo, 4–8 ottobre 1992, pp. 1117–1129.

Charles E. BULLOCK, Frank PHILLIP, Walter PENNATI, *The Sistine Chapel: HVAC Design for Special-Use Buildings*, in: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Journal*, 38, 1996, n. 4, pp. 49–58.

Antonio G. STEVAN, *Progetto Esecutivo degli Impianti Meccanici, Elettrici e Speciali della Cappella degli Scrovegni e del Corpo Tecnico Attrezzato*, Padova, 1998.

SYNCRO Advanced Engineering Consulting, *La Cappella degli Scrovegni – Misura dei Parametri Fisici Ambientali, Rapporti al Comune di Padova*, marzo 1997 e gennaio 2002.

Cesare BONACINA, Alessio GASTALDELLO, Piercarlo ROMAGNONI, Antonio G. STEVAN, *Modellistica di Previsione per il Controllo del Microclima: l'Uso della CFD*, in: Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 39–44

Ernesto BORRELLI, Maurizio MARABELLI, Paola SANTOPADRE, *Studio dello Stato di Conservazione e Messa a Punto del Sistema di Pulitura*, in: Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 106–114.

Marcella IOELE, Maurizio MARABELLI, *Misure Colorimetriche sui Dipinti Murali prima e dopo l'Intervento di Restauro*, in: Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 151–155.

Maurizio MARABELLI, Paola SANTOPADRE, Vasco FASSINA, *Rilevazioni degli Inquinanti atmosferici prima e dopo l'Installazione del Corpo Tecnologico Attrezzato*, in: Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 45–51.

Maurizio MARABELLI, Marcella IOELE, Domenico ARTIOLI, Alfredo CASTELLANO, Roberto CESAREO, Giovanni BUCCOLIERI, Stefano QUARTA, Cesare CAPPIO BORLINO, *La Distribuzione dei Solfati prima e dopo l'Intervento di Restauro*, in: Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 141–150.

Maurizio MARABELLI, Paola SANTOPADRE, Marcella IOELE, Giuseppe CHIAVARI, Silvia PRATI, *Studio dei Materiali di Restauro e dei Prodotti di Alterazione tramite Analisi Microdistruttive*, in: Giuseppe BASILE (Ed.), *Il Restauro della Cappella degli Scrovegni*, Milano 2003, pp. 132–140.

Abbildungsnachweis

Fig. 1: G. Biscontin – S. Diana – V. Fassina – M. Marabelli, 1982; Fig. 2, 14, 15, 20: Istituto Centrale per il Restauro, Roma (A. Rubino); Fig. 3: E. Borelli – M. Marabelli – P. Santopadre, 2003; Fig. 4: C. Panzironi, Università La Sapienza, Roma; Fig. 5: Istituto Centrale per il Restauro, Roma (P. Gusso); Fig. 6: M. Marabelli – P. Santopadre – V. Fassina, 2003; Fig. 7–12, 16–19: SYNCRO, Padova; Fig. 13: M. Marabelli – M. Ioele – D. Artioli – A. Castellano – R. Cesareo – G. Buccolieri, S. Quarta, C. Cappio Borlino, 2003; Fig. 21: Helmut F. Reichwald, Stuttgart.

Microclimatic Measurements and Laboratory Research in Historical Buildings with Medieval Wall Paintings at Croatian Adriatic Coast

Introduction

Since 2001 the *Department of Wall Paintings and Mosaics Conservation* and the *Science Laboratory* (Croatian Conservation Institute) have been systematically observing changes of microclimatic conditions in historical buildings with wall paintings and mosaics. The research is financed by the Croatian Ministry of Culture. During the last five years, microclimatic conditions were observed in seventeen historical buildings in inland and coastal parts of Croatia.¹ In addition to measuring air temperature (°C) and relative humidity (rH%), in some buildings the temperature of the walls was also measured using the electronic device *Testo data logger* and the programme *Testo Comfort Software basic*. In these fully financed projects, the types and values of water-soluble salts were defined using chemical qualitative and quantitative analyses² and X-ray diffraction³; microbiological analyses were carried out when needed.⁴

The historical buildings in Zadar, Dubrovnik and Ston with fragmentarily preserved medieval wall paintings which are pre-

sented in this paper are typical examples of the present condition of this kind of historical monument on the central and southern Adriatic coastline in Croatia. Included are the results of laboratory examinations and two-year continuous microclimatic measurements in the apse of the south nave in the Cathedral of St Stošija (St Anastasia) (Fig. 1–2) and in the room on the first floor of the belfry of St Mary's Church in a Benedictine convent in Zadar (Fig. 3–4). From Dubrovnik, results are presented from microclimatic measurements in the substructure of the Cathedral of Our Lady (Fig. 5–6) and from preliminary laboratory research in the room above the sacristy in the Franciscan monastery *Mala braća* in which microclimatic measurements have not started yet because of construction work being done on the first floor (Fig. 7–8). In addition to these monuments in urban settings, this paper discusses a valuable monument of Early Romanesque architecture, located on an isolated hill close to Ston (the small Church of St Michael) (Fig. 17–18), which represents a group of historical buildings with fragments of wall paintings at isolated locations that are hard to approach for control and maintenance.⁵

Past

Fragmentation of medieval wall paintings and its causes "TEMPUS EDAX RERUM"

Fragmentation of the wall paintings discussed here is the result of human destructive acts and of deterioration caused by natural processes occurring over the course of time. Examples of deterioration of wall paintings caused primarily by natural processes are the wall paintings in the south apse of the Cathedral of St Anastasia and in the room on the first floor of the belfry of St Mary's Church in Zadar, as well as the paintings in the Church of St Michael near Ston on the Pelješac peninsula. In all three of these buildings the preserved fragments of wall paintings were discovered in the last century under several layers of plaster and lime coatings which were applied because of the bad condition of the walls (or possibly also as part of regular hygienic measures following plague epidemics) rather than for change of fashion.⁶

Wall paintings from the last quarter of the 13th c. (1284), discovered in 1905 in the northern apse of Zadar Cathedral, were mostly deteriorated immediately after their discovery. Looking at the problem from today's perspective, it would have been better if they had not been discovered at all, especially considering the fact that not only the valuable wall paintings but also the interesting iconographic programme that decorated that apse (*S. Thomas Becket*) were lost.⁷ The actual causes of their deterioration after discovery are not known. However, judging from the fragments of wall paintings in the south apse of the cathedral, it cannot be very wrong to presume that, apart from possi-

¹ *Zagreb*, St Mark's Church, South Portal; *Ludbreg*, Municipal Wedding Hall; *Ludbreg*, Batthyany Castle, Chapel of St Cross; *Sv. Križ Začretje*, Chapel of St Anne; *Gornja Stubica* – Oršić Castle, Chapel of St Francis Xavier; *Šenkovec*, Chapel of St Helena; *Štrigova*, Church of St Jerome; *Varaždin*, Franciscan Monastery, Pharmacy; *Sv. Ivan na Gorici*, Church of St John; *Oprtalj*, Church of St Helena; *Slum*, Church of St Matthew; *Zadar*, Cathedral of St Anastasia; *Zadar*, Belfry of the Church of St Mary; *Dubrovnik*, Kerša Palace; *Dubrovnik*, Cathedral; *Ston*, Church of St Michael; *Pula*, Cathedral.

² Quantitative and qualitative chemical analyses of salts were carried out in the Science Laboratory of the Croatian Conservation Institute and in *CEMTRA*, Ltd. in Zagreb (Department for Products' Quality Control).

³ Research of this type was carried out in the Mineralogic-Petrographic Institute of Science-Mathematical Faculty in Zagreb.

⁴ Microbiological research was carried out at the Faculty of Chemical Engineering and Technology of Zagreb University.

⁵ In the meantime measurements have begun in the small Church of St John at Šilovo selo on Šipan island (Dubrovnik archipelago).

⁶ Daniel V. THOMPSON, *The materials and techniques of medieval paintings*, New York, 1956, p. 72.

⁷ Giuseppe BERSA, *L'arca e la Cappella di S. Anastasia nel duomo di Zara*, in: *Bollettino di Archeologia e storia dalmata* XXXI, 1908, p. 11–26; – Nada KLAJČ and Ivo PETRICIOLI, *Zadar u srednjem vijeku II (do 1409.)*, (Zadar in Middle Ages, till 1409) Zadar 1976, p. 266–267. – In this apse, in semi-dome there was a depiction of Christ on the throne, holding the open book in his left hand with the sentence "Ego sum Alpha et Omega", on the left side of Christ there was a depiction of St Thomas Becket in archbishop's clothes with the sign "S. Thomas cantuarbensis", and St Anastasia was depicted right from Christ. A series of standing saints' figures was depicted below them. Yet in the year 1976 one could see only small fragments of Christ's figure and the throne, the lower part of St Thomas Becket's figure, and in only one head and a part of another one in central zone.

ble inadequate restoration, their condition at the time and the microclimate in the cathedral also contributed to their deterioration. After removal of several layers of lime coatings and plaster that protected the wall paintings from harm caused by crystallisation of salts on their surface and the area close to it, the destructive processes in fact continued at a faster pace, destroying the *intonaco* and the painted layers that were partly damaged earlier (Fig. 2).

Wall paintings from the first half of the 12th c. on the first floor of the belfry of St Mary's Church in Zadar were discovered through an unhappy concurrence of events, following heavy destruction of the town's centre just before the end of the Second World War. Among other buildings, the convent complex, including the church, the Capitulum Hall and the Convent, suffered damage, whereas the belfry remained unharmed. Because of strong detonations in close vicinity to the belfry, the upper plaster layers that covered the wall paintings fell off.⁸ Conservation-restoration research proved that the paintings had been in fragments before they were covered with plaster and lime-coated, and that their destruction was mainly caused by natural processes of deterioration. Rainwater flowing down the openings of the belfry for centuries onto the vault and walls of the room on the first floor, together with specific microclimatic conditions, contributed to rapid deterioration of the painted layer, *intonaco* and lower plaster layers (Fig. 3).



Fig. 1. Zadar, Cathedral of St Anastasia (Sv. Stošija), south apse, wall painting (c. 1284), detail.



Fig. 2. Zadar, Cathedral of St Anastasia (Sv. Stošija), south apse, wall painting, detail: typical deterioration of paint layer.



Fig. 3. Zadar, St Mary's Church, belfry, south-east wall, wall painting, detail: salt efflorescences.

▷ Fig. 5. Dubrovnik, Cathedral of Our Lady, ruins of the former Byzantine Cathedral with remains of wall paintings (second half of 11th century).

▷ Fig. 6. Dubrovnik, Cathedral of Our Lady, wall paintings (see fig. 5), detail: white square shows state of conservation before cleaning in 1982–1984.



Fig. 4. Zadar, St Mary's Church, belfry, south-east wall, wall painting (first half of 12th century), detail: Christ.



Fig. 7. Dubrovnik, Franciscan Monastery *Mala braća*, room above sacristy vault, wall paintings (first half of 14th century), detail (after excavation).



cathedral was erected in its place. If data about changes in the Adriatic sea level (according to which the level rises approximately 1 mm a year) could be at least partly considered and applied to Dubrovnik, then sea level could have risen as much as 60 cm in the period from the 6th to the 12th c.⁹ However, even a rise in sea level of half this much could have caused problems in that period; hence the cathedral was erected on the heaped-up area. One more fact leads to the conclusion that destruction

In terms of the material of the *intonaco*, which consists of slaked lime and sand together with a lot of brick-powder, wall paintings from the belfry of St Mary's Church in Zadar are similar to those in the Church of St Michael near Ston. Fragmentation of the paintings in Ston, from the second half of the 11th c., is caused by capillary moisture in the foundation which completely destroyed the paintings on the lower parts of the wall, rainwater leaking through the badly maintained roof, and perhaps also the impact of airborne salts from the salt-pans near Ston (still the subject of research) (Fig. 13 and 18).

As opposed to deterioration primarily caused by natural processes, in the examples from Dubrovnik human impact caused the worst harm to the wall paintings, although it is possible that primary damages caused by natural processes hide behind the harm done by humans. Thus the actual cause of the ruin of the original Byzantine cathedral from the 6th c., with its wall paintings from the second half of the 11th c., might in fact be found primarily in the slow but continuous rise of sea level and possible flooding of its lower parts (the naves). In the 12th c. the Byzantine cathedral was pulled down, and a Romanesque



Fig. 8. Dubrovnik, Franciscan Monastery *Mala braća*, room above sacristy vault, detail: angel (after conservation-restoration).

⁸ Croatian Conservation Institute, Archive, dossier no 59/4.

⁹ G. Di DONATO, R. SABADINI, L.L.A. VERMEERSEN, A. M. NEGREDO, E. CARMINATI, Multi-Disciplinary approach to sea-level change in the Adriatic area and in the Po-Delta: insights from modelling and stratigraphy analysis, IGBP/GAIM Report Series Report 8, EGS Vening Meinesz Conference 1: "Global and regional Sea-Level Changes and the hydrological cycle", October 4-6, 1999, Loiri-Porto San Paolo, Sardinia Italy - http://gaim.sr.unh.edu/Products/Reports/Report_8/report8.pdf - South-Western coast of England sinks 2 mm a year. Some Roman places in London had been built 5 m under the actual sea level. Features of Sea-Level Change (October 2004).

Evaluation	Chlorides (Cl ⁻ %)	Nitrates (NO ₃ ⁻ %)	Sulphates (SO ₄ ²⁻ %)
NOT HARMFUL	< 0,03	< 0,05	< 0,01
POSSIBLY HARMFUL	0,03 – 0,10	0,05 – 0,15	0,01 – 0,25
HARMFUL	> 0,10	> 0,15	> 0,25

Fig. 9. Table showing harmfulness of salts, according to Austrian Standard B 3355-1.

Year of analyzing	1971	1973	1987	2001	2003	2004
ZADAR, Cathedral of St Anastasia		CaCl ₂ 0,037 % MgCl ₂ 0,038 % 0,075 %			Cl ⁻ 0,01 % 0,01 %	
ZADAR, Belfry of St Mary's Church	Cl ⁻ (plaster) 0,01 % 0,01 %		Cl ⁻ (plaster) 0,01 % 0,01 % 0,01 %	Cl ⁻ (plaster) 0,01 % 0,01 %	Cl ⁻ (plaster) 0,01 % 0,01 % 0,01 % 0,01 % 0,01 % 0,01 % Halite (NaCl)	
DUBROVNIK, Franciscan monastery						Cl ⁻ (pulp) 0,01 % 0,03 % 0,17 % 0,27 %
STON, St Michael's Church						Cl ⁻ (plaster) 0,01 % 0,01 %

Fig. 10. Table showing laboratory analyses of chlorides (Cl⁻) for Zadar, Dubrovnik and Ston.

Year of analyzing	1971	1973	1987	2001	2003	2004
ZADAR, Cathedral of St Anastasia						
ZADAR, Belfry of St Mary's Church				(plaster) 0,06 % 0,06 % 0,06 % 0,06 % 0,11 % 0,11 %		
DUBROVNIK, Franciscan monastery						0,01 % 0,02 % 0,07 % 0,12 %
STON, St Michael's Church					0,081 % 0,299 % 0,304 %	

Fig. 11. Table showing laboratory analyses of nitrates (NO₃⁻) for Zadar, Dubrovnik and Ston.

Fig. 12. Table showing laboratory analyses of sulphates (SO₄²⁻) for Zadar, Dubrovnik and Ston.

Year of analyzing	1971	1973	1987	2001	2003
ZADAR, Cathedral of St Anastasia		MgSO ₄ 0,042 % Na ₂ SO ₄ 0,034 %		(plaster) 0,01 % 0,01 % 0,18 %	
ZADAR, Belfry of St Mary's Church	(plaster) 0,16 % 0,24 %		(pulp) 0,14 % 0,14 %	(plaster) 0,22 % 0,22 % 0,22 % 0,22 % 0,22 % 0,22 % Hexahydrate (MgSO ₄ · 6H ₂ O) Thenardite (Na ₂ SO ₄) Gypsum (CaSO ₄ · 2H ₂ O) Epsomite (MgSO ₄ · 7H ₂ O)	
DUBROVNIK, Franciscan monastery					
STON, St Michael's Church					0,005 % 0,16 % Thenardite (Na ₂ SO ₄)

NaCl	30,76
KCl	0,66
MgCl ₂	3,74
CaSO ₄	1,64
MgSO ₄	2,39
Other salts	0,07
Total	39,26 g/l (or 3,926%)

Fig. 13. Table showing concentration of the main salts in sea water of Mediterranean.

Date of measuring	Building	Lowest temperature (°C)	Highest temperature (°C)	Average value of temperature (°C)	Lowest relative humidity (% rH)	Highest relative humidity (% rH)	Average value of relative humidity (% rH)
3.4. – 4.9. 2003	CATHEDRAL	+15,03 °C	+29,07 °C	+20,00 °C	22,10 %	81,00 %	50,00 %
3.4. – 5.9. 2003	BELFRY	+12,26 °C	+32,32 °C	+20,00 °C	30,50 %	85,00 %	50,00 %
1.4. – 15.9. 2004	CATHEDRAL	+16,21 °C	+27,06 °C	+20,00 °C	32,09 %	85,09 %	50,00 %
1.4. – 15.9. 2004	BELFRY	+14,49 °C	+26,55 °C	+20,00 °C	28,90 %	85,70 %	50,00 %
22.10.2002 – 2.4.2003	CATHEDRAL	+11,17 °C	+19,77 °C	+15,00 °C	32,20 %	81,60 %	50,00 %
22.10.2002 – 3.4.2003	BELFRY	+ 5,66 °C	+19,26 °C	+12,00 °C	34,60 %	87,40 %	50,00 %
11.11.2003 – 1.4.2004	CATHEDRAL	+12,30 °C	+16,13 °C	+14,00 °C	28,00 %	79,40 %	50,00 %
11.11.2003 – 1.4.2004	BELFRY	+10,26 °C	+17,99 °C	+14,00 °C	37,70 %	81,90 %	50,00 %

Fig. 14. Zadar, Cathedral and Belfry: Table showing parallel measurements of temperature and relative humidity.

Date of measuring	Time of measuring	Lowest temperature (°C) & relative humidity (% rH)	Highest temperature (°C) & relative humidity (% rH)	Average value of temperature (°C)	Lowest relative humidity (% rH) & Temperature (°C)	Highest relative humidity (% rH) & Temperature (°C)	Average value of relative humidity (% rH)
11.3. 2003		+7,0 °C	+11,0 °C	+9,0 °C	60,0 %	99,7 %	72,0 %
30.6. 2004		83,0 %	85,1 %	+11,0 °C			
15.2. 2004	20,00h	+7,0 °C					
20.2. 2004	0,00h	(89,50 %)					
25.8. 2003	22,00h		+20,0 °C				
12.2. 2004	14,00h		85,13 %		60,0 %	(+18,5 °C)	99,7 %
26.2. 2004	20,00h					(+7,2 °C)	

Date of measuring	Time of measuring	Lowest relative humidity (% rH) & Temperature (°C)	Highest relative humidity (% rH) & Temperature (°C)	Average value of relative humidity (% rH)
12.2. 2004	18,00 h	25,20 %	(+12,01 °C)	
26.2. 2004	23,00 h		83,20 %	(+15,00 °C)

Fig. 15. Dubrovnik, Cathedral of Our Lady (above) and Kerša palace (below): Table showing parallel measurements of temperature and relative humidity.

Fig. 16. Table showing salts and average value of temperature (°C) and relative humidity (%) and equilibrium of relative humidity for Zadar, Dubrovnik and Ston.

SALTS	1971	1973	1987	Annual average value of temperature (°C)	Annual average value of relative humidity (% rH)	
ZADAR, Cathedral	MgCl ₂ 7 CaCl ₂ 2 MgSO ₄ 7 Na ₂ SO ₄	Bleached MgCl ₂ · 6H ₂ O Antarctic CaCl ₂ · 6H ₂ O (Epsomite Hexahydrate) (Thenardite) 1 (MgSO ₄)	33,5 % rH 33,7 % rH	16,1 °C 16,3 °C	28,1 % rH 30,8 % rH 50,1 % rH 52 % rH	16,1 °C 50,00 %
ZADAR, Belfry	CaCl ₂ Benzonitrile Epsomite Hexahydrate Thenardite Halite	CaCl ₂ MgCl ₂ · 3H ₂ O CaSO ₄ · 2H ₂ O MgSO ₄ · 7H ₂ O MgSO ₄ · 6H ₂ O Na ₂ SO ₄ NaCl	86,9 % rH	16,1 °C	90,1 % rH 82 % rH 73,5 % rH	16,1 °C 89,25 %
DUBROVNIK, Cathedral		CaCl ₂ CaCl ₂		16,1 °C		16,1 °C 79,98 %
DUBROVNIK, Franciscan Monastery	Hydromagnesite	CaCl ₂ Mg(OHCO ₃) ₂ · nH ₂ O CaCl ₂				
STON, St Michael's Church	CaCl ₂ Gypsum Thenardite	CaCl ₂ CaMg(CO ₃) ₂ Na ₂ SO ₄ NaCl		16,1 °C (summer)	80,18 % (summer)	16,1 °C (summer) 80,18 % (summer)

of the Byzantine cathedral could have been caused by the rise in the sea level: the floor of the Romanesque cathedral was placed at a much higher point in relation to the floor of the former cathedral, whose walls were demolished to a height of somewhat more than 2 m above the floor. The main reason for that could have been an effort to avoid possible flooding in the future¹⁰ (Fig. 5–6).

An example of fragmentation of wall paintings from the first half of the 14th c. where damage was mainly caused by human impact involves the paintings preserved on the walls above the vault of the sacristy in the Franciscan monastery *Mala braća* in Dubrovnik. The initial damage to the wall paintings occurred on the eastern wall of the sacristy after a chapel with an altar was added there at the end of the 15th c. Soon after replacing the original wooden beam in the sacristy with a vault made of stone and tufa, the wall paintings above the vault, which were damaged but still visible, were buried under rubble material. What happened to the wall paintings in the sacristy remains unknown; the results of preliminary conservation-restoration probing were negative (Fig. 7–8).

Present

Summary of results of microclimatic measurements and laboratory analyses

“NATURA NON FACIT SALTUS”

The primary aim of the research on the condition of the wall paintings in the buildings mentioned was to discover the causes of their rapid deterioration and to evaluate the role of the microclimate in these processes. The following steps concern analyses of the results and establishment of acceptable solutions for stabilising microclimatic conditions in rooms with wall paintings.

Laboratory research had been carried out sporadically over longer periods of time in some buildings, and results from the last few years, e.g. in Ston, prompted the beginning of systematic microclimatic measurements.

The analyses of salts carried out so far showed that *carbonates* (CO_3^{2-}) and *hydrogen carbonates* (HCO_3^-) are found in samples from Zadar (the belfry of St Mary's Church), Dubrovnik (the Franciscan monastery *Mala braća*) and Ston (Church of St Michael). *Calcite* (CaCO_3) was identified by X-ray diffraction in all three buildings; in addition *nesquehonite* ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) was found in Zadar, *hydromagnesite* ($\text{Mg}_5/\text{OH}(\text{CO}_3)_2/2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) in Dubrovnik and *dolomite* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) in Ston.

Chlorides (Cl^-) were identified in harmful concentrations in samples from all the buildings analysed. The concentration of chlorides is lower than 0.21% in Dubrovnik, and higher in Ston,

where it reaches 0.38%. However, it should be emphasised that the samples taken from Ston were from new plaster. In both buildings in Zadar the concentration of salts is much higher; in the cathedral it reaches 1.21%, and in two samples taken from the belfry the defined concentrations were 3.5% and 5.8%. *Halite* (NaCl) was identified by X-ray diffraction (Fig. 9 and 10).

Nitrates (NO_3^-) were found in harmful concentrations in the belfry of St Mary's Church in Zadar and in the Church of St Michael in Ston. The highest concentration in Zadar was 0.83% and in Ston was 0.390%. Possibly harmful concentrations of nitrates were also found in the Franciscan monastery *Mala braća* in Dubrovnik (0.12%) (Fig. 9 and 11).

The harmful contents of soluble *sulphates* (SO_4^{2-}) were defined by evaporation in both buildings in Zadar; they were absent in Dubrovnik, but present in possibly harmful concentrations in Ston. *Thenardite* (Na_2SO_4) was found in the belfry of St Mary's Church in Zadar and in the Church of St Michael in Ston; in addition *gypsum* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *hexahydrate* ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and *epsomite* ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) were identified (Fig. 9–12).

The summary of periodic laboratory analyses of salts in plasters from the two churches in Zadar carried out so far showed a gradual growth of *chlorides* (Cl^-) and *sulphates* (SO_4^{2-}) from 1973 to 2001. In the Cathedral of St Anastasia *chlorides* (CaCl_2 and MgCl_2) and *sulphates* (MgSO_4) measured less than 1.00% in 1973; in 2001, analyses showed that both chlorides and sulphates had increased to more than 1.00%. Analyses from 1971 proved that concentrations of *chlorides* (Cl^-) in the belfry of St Mary's Church were harmful (1.02% and 0.57%), and concentrations of *sulphates* (SO_4^{2-}) were possibly harmful (0.16% and 0.24%). Analyses in 2001 showed a slight increase of *chlorides* (0.74% and 1.05%) and a significant increase of *sulphates* (3.28% and 2.30%). A number of stone samples from the wall on the first floor of the belfry of St Mary's Church were also analysed in 2003. At that time, all analysed samples had harmful concentrations of *chlorides* (Cl^-) and *sulphates* (SO_4^{2-}), and five of seven samples measured had harmful concentrations of *nitrates* (NO_3^-).

Preliminary research on water-soluble salts and microbiological investigations were carried out on the recently discovered fragments of wall paintings in the room above the vault of the sacristy in the Franciscan monastery *Mala braća* in Dubrovnik. In the analyses of water-soluble salts carried out so far, possibly harmful concentrations of *chlorides* (Cl^-) were found in one, and harmful concentrations in two, of four analysed samples; *nitrates* (NO_3^-) were also found in possibly harmful concentrations. The carbonates *calcite* (CaCO_3) and *hydromagnesite* ($\text{Mg}_5/\text{OH}(\text{CO}_3)_2/2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) were defined by X-ray diffraction.

Based on laboratory analyses of plaster samples and crystallised salts from the Church of St Michael in Ston carried out so far, it could be concluded that certain types of harmful salts are determined by the very structure of the wall paintings' support, the use of slaked lime of dolomite origin. This could then explain the presence of *magnesium sulphate* in several forms (*epsomite*, *hexahidrit*). Nevertheless, its appearance can be related to airborne salts that could make their way from the sea in wind-driven rain. The identification of *halite* (NaCl) and harmful concentrations of *chlorides* in all the buildings analysed also lead to the same conclusion (Fig. 13).

¹⁰ Based upon analyses of results of archaeological research it is supposed that the sea level in Dubrovnik rose approximately 2 metres in the last 2000 years; at the same time the ground level of the coast sank approximately 1 metre, so the total rise of sea level is approximately 3 metres. Antun NIČETIĆ, *Povijest dubrovačke luke*, Dubrovnik 1996, p. 23.



Fig. 17. Ston, Church of St Michael, interior, wall paintings (second half of 11th century), detail.

The two-year average of **microclimatic measurements** in two buildings in Zadar proved that there were also larger aberrations in their microclimatic conditions. Measurements in the south nave apse of Saint Anastasia's Cathedral showed that +23.19 °C was the average air temperature in the spring-summer period, and the average relative air humidity was 64.17%. In the autumn-winter period +15.45 °C was the average air temperature, and the average relative air humidity was 56.62%. Meas-

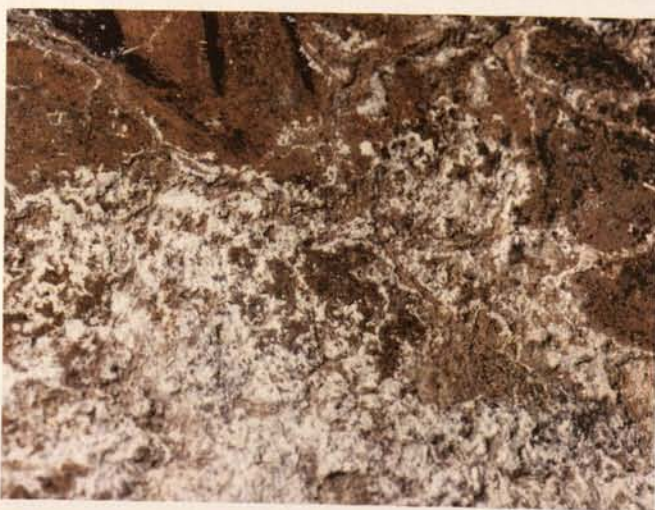


Fig. 18. Ston, Church of St Michael, wall paintings (see fig. 17), detail: salt incrustation.

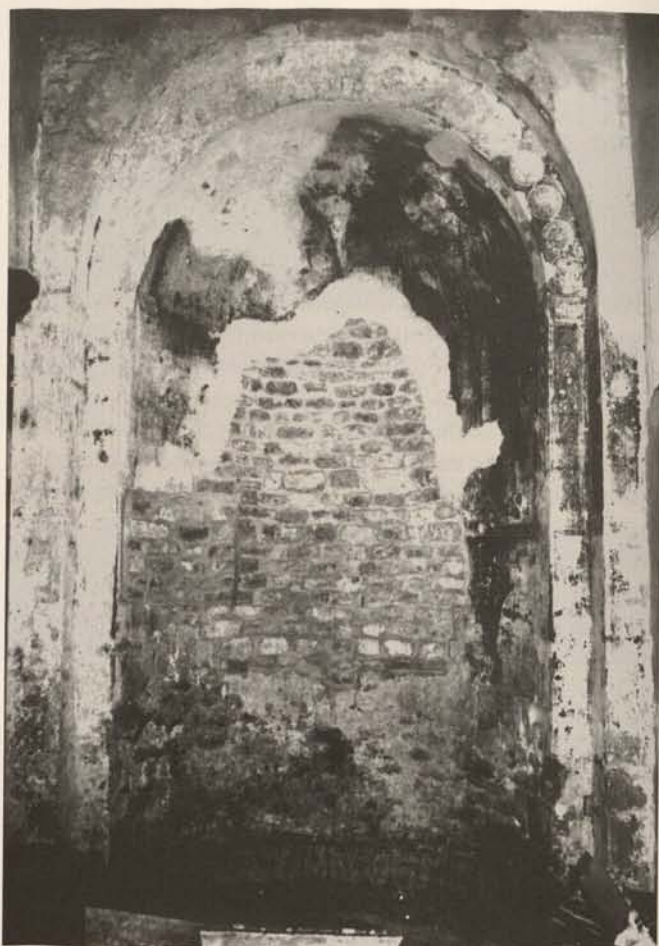


Fig. 19. Zadar, Cathedral of St Anastasia (Sv. Stošija), south apse, wall paintings (1971).

urements carried out at the same time on the first floor of the belfry of St Mary's Church showed a microclimate similar to that in the cathedral during the spring-summer period – the average air temperature inside the belfry was +22.56 °C, and the relative air humidity was 68.49%. However, in the autumn-winter period the average air temperature inside the belfry was +12.02 °C, while the relative air humidity was 70.22%. The difference in the autumn-winter period appeared partly due to central heating in the cathedral, and in the belfry of St Mary's Church probably due to insufficiently sealed openings between the belfry and the Capitulum Hall, from which heated air flows into the belfry and condenses on the walls of the first floor room (Fig. 14).

Measurements over one year in the substructure of the Cathedral of Our Lady in Dubrovnik showed air temperature oscillations from +7.0 °C in February to +20.6 °C in August. The relative air humidity oscillated between 60.9% and 99.71% during the year. Both extreme points of relative air humidity were measured in February, at an interval of two weeks, while the air temperature oscillated between +8.0 °C and +7.7 °C, i.e. 0.3 °C (Fig. 15 above). The results of measuring air temperature (°C) and relative air humidity (rH) in Kerša Palace, located approximately 300 m from the cathedral in Dubrovnik, should be mentioned for comparison (Fig. 15 below). The temperature was measured in an unheated room on the first floor of the palace, with windows to the west. On the same day that the lowest percent of 60.09% relative air humidity with an air temperature of

+8.00 °C was measured in the cathedral (February 12, 2004 at 14:00 h), the measurements in Kerša Palace showed a relative air humidity of 29.70% and an air temperature of 13.81 °C. On the day with the highest percent of relative air humidity in the cathedral in the year (99.71%) and an air temperature of 7.7 °C (February 26, 2004 at 23:00 h), the measurements in Kerša Palace showed 83.20% relative air humidity and an air temperature of 15.08 °C. Measurements are just going to begin in the room above the sacristy vault in the Franciscan monastery *Mala braća* in Dubrovnik.

In the Church of St Michael near Ston on the Pelješac peninsula, preliminary analyses of water-soluble salts have been carried out, and microclimatic measurements were started in the summer of 2004. Their results relate only to part of the summer and early autumn period of the year 2004. During the measurement period the lowest air temperature was +18.30 °C and the highest was +29.82 °C, while relative air humidity oscillated between 27.60% and 80.90%.

Future

Possible solutions for the microclimate in the conservation and presentation of wall paintings

“*TEMPORA MUTANTUR (NOS ET MUTAMUR IN ILLIS)*”

Based on these reflections, it can be concluded that the problem of increasing fragmentation of the support of the painted layer in the south apse of *Saint Anastasia's Cathedral* in Zadar could be solved in a manner similar to one suggested some thirty years ago: either by taking the wall paintings off the wall, conserving both the wall and the wall paintings, and returning the wall paintings *in situ*; or by trying to stabilise the microclimate in the apse of the south nave, after which certain conservation-restoration procedures can be applied to the wall paintings without taking them off the wall. Considering the fact that both actions require stabilisation, it seems safer to preserve the wall paintings and carry out all procedures needed to conserve them without removing them. However, on the other hand, if these actions are not undertaken as soon as possible, it could be too late for the wall paintings, and so the first solution mentioned should not be incautiously refused (Fig. 19–20). One of the ideas for improving microclimatic conditions in the south apse is to install a glass partition between the apse and the nave, so that the apse would be isolated and an adequate microclimate would be easier to establish (Fig. 21).

The discovery of large quantities of water-soluble salts in the stone and in analysed plaster samples after all the necessary steps had been taken to prevent rainwater flowing along the openings at higher floors of the belfry of *St Mary's Church* led to the conclusion that solving the problem of harmful effects of salts should also include stabilising microclimatic conditions in the room in which the wall paintings were located and in the rooms that surround it directly (the stairway and the narrow passage between the ground-level entrance and the stairway) (Fig. 22). In view of the results from temperature (°C) and relative humidity (%rH) measurements carried out so far on the first floor of the belfry, a detailed study of stabilisation of its microclimate is planned. This study anticipates that the first floor room should be closed off by a glass partition towards the



Fig. 20. Zadar, Cathedral of St Anastasia (Sv. Stošija), south apse, wall paintings (2004).

Capitulum Hall and the stairway isolated from the hall by a glass door. The partitioning of the Capitulum Hall by means of a glass wall in front of the belfry in the line of two semi-columns is also being taken into consideration. The plan also anticipates stabilisation of the microclimate in the narrow passage between the belfry, the church and the attic of the Capitulum Hall, which leads to the stairway to the upper belfry floors. One of the most delicate questions in the microclimate project

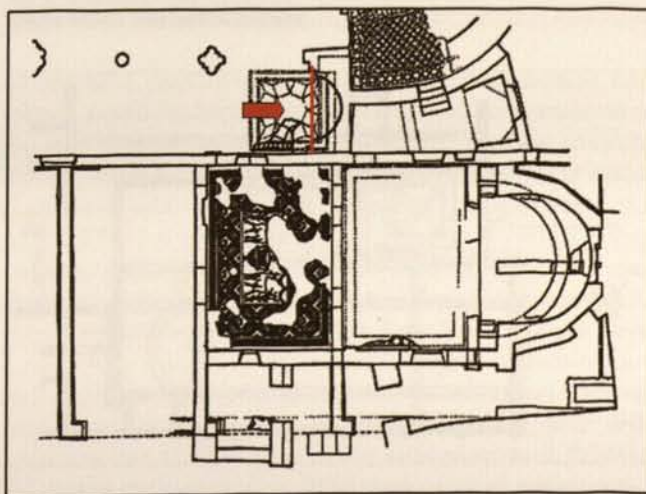


Fig. 21. Zadar, Cathedral of St Anastasia (Sv. Stošija), floor plan: anticipated glass partition between south nave and apse.

will involve selecting the stable value for the temperature and relative humidity in the room on the first floor of the belfry, considering the fact that analyses of salts showed that the analysed salts are of different *equilibrium relative humidity* (Fig. 16).¹¹

In the two historical buildings in Dubrovnik the discovery of fragmentary remains of wall paintings that had been preserved for centuries under heaps of rubble material (in the Franciscan monastery) or earth (in the cathedral) produced problems about how to conserve and present them. The measurements of temperature (°C) and relative humidity (%rH) taken in the substructure of the *Cathedral of Our Lady in Dubrovnik*, showed that the actual microclimatic conditions did not harm the discovered fragments of wall paintings, at least not visibly (Fig. 6), so the results of these measurements will be direct indicators for the architects as they work out how to present these discoveries to the public. The Baroque cathedral was seismically retrofitted in the 1980s. The findings of older architectural layers of the cathedral were preserved by means of constructive interventions, and they can be seen under the present floor of thick concrete block. On the insulation board attached to its lower side there are visible condensed water drops that are dripping all the time (Fig. 5). In the substructure space there are also visible puddles of water (i.e., sea level is higher than ground level at these locations in the space under the cathedral). However, in general there are no damages visible on the wall paintings, although it should be emphasised that water-soluble salt samples were not analysed during microclimatic measurements, so the possible harm that could occur due to significant lowering of humidity is not predictable. The *ideal project* for presentation of the room under the cathedral and in front of it, made in the spring of 2004, involves a plan to present these older substructures to the public as a museum. The project specifies the “lack of space in walking areas and the necessity of maintaining a special climate” and researchers therefore suggest visits in groups of not more than twenty people. Visits to the museum are planned to last 10–20 minutes and to include not more than a thousand visitors a day.

The recent accidental discovery of wall-painting fragments from the 14th century under the present floor above the sacristy vault in the Franciscan monastery *Mala braća* in Dubrovnik made the comprehensive construction work on the

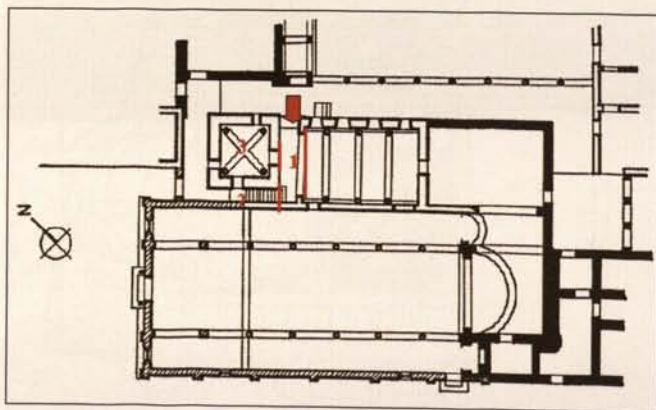


Fig. 22. Zadar, St Mary's Church, floor plan: anticipated glass partitions between belfry and capitulum hall as between capitulum hall and stairway.

first floor of the eastern monastery wing even more complicated. After discovery of the fragments, the question of their conservation and protection arose. In view of the fact that six rooms, three of them with a bathroom, were being planned above the sacristy, the initial plan was to take the paintings off the wall, put them on a new support and display them on the walls of the cloister. However, this was not accepted by conservators and restorers, who insisted on protection of the wall paintings *in situ*. The project now anticipates controlling the condition of the wall paintings by means of several openings in the floors of the newly built rooms above. Research carried out so far included X-ray diffraction of samples of crystallised salts on the surface of the wall paintings; qualitative and quantitative chemical investigations of salt samples from pulps and microbiological research on samples of fungi from cellulose pulps. Their results warned of potential problems to be expected soon if a stable microclimate is not established in the new small space sandwiched between the vault and the floor (Fig. 23–24). Microclimatic measurements in the interposed space above the sacristy vault are therefore planned for after termination of the construction work, which will close the space off completely. The project anticipates using tubes built into the walls which will connect the space with the wall paintings to the attic and provide passive ventilation. In case such ventilation is not adequate, the tubes could be used for additional active ventilation (bringing in air with a certain temperature and humidity). Video-controls will be used for the long-term control of the wall paintings' condition.

Summary

The text presents the results of measuring temperature (°C) and relative humidity (% rH), together with the results of qualitative and quantitative chemical analyses and X-ray diffraction of water-soluble salts, and microbiological analyses that were carried out so far in a few historical buildings with remains of medieval wall paintings at central and south part of the Croatian Adriatic coast (the south nave apse of Saint Anastasia's Cathedral and the room on the first floor of the belfry of St Mary's Church in Zadar; the substructure of Cathedral of Our Lady and the room above the vault in the Franciscan Monastery *Mala braća* in Dubrovnik; Church of St Michael near Ston at Pelješac peninsula). The researches in the buildings were carried out with the purpose to determine their microclimatic conditions and relevant factors that these conditions influence decisively, like water-soluble salts and microbiological damages, so the satisfactory conditions of protection and conservation of wall paintings could be chosen based upon these results. The laboratory researches and microclimatic measuring carried out so far showed that stable microclimate should be provided, considering the equilibrium relative humidity ($\phi_R\%$) of present

¹¹ Andreas ARNOLD and Konrad ZEHNDER, Monitoring Wall Paintings affected by soluble Salts, in: *The Conservation of Wall Paintings* (Proceedings of a symposium organized by the Courtland Institute of Art and the Paul Getty Institute, London, July 13–16, 1987), Getty Conservation Institute 1991, pp. 103–135; Clifford PRICE, *An Expert Chemical Model for determining the environmental conditions needed to prevent salt damage in porous materials*, European Communities, 2000.

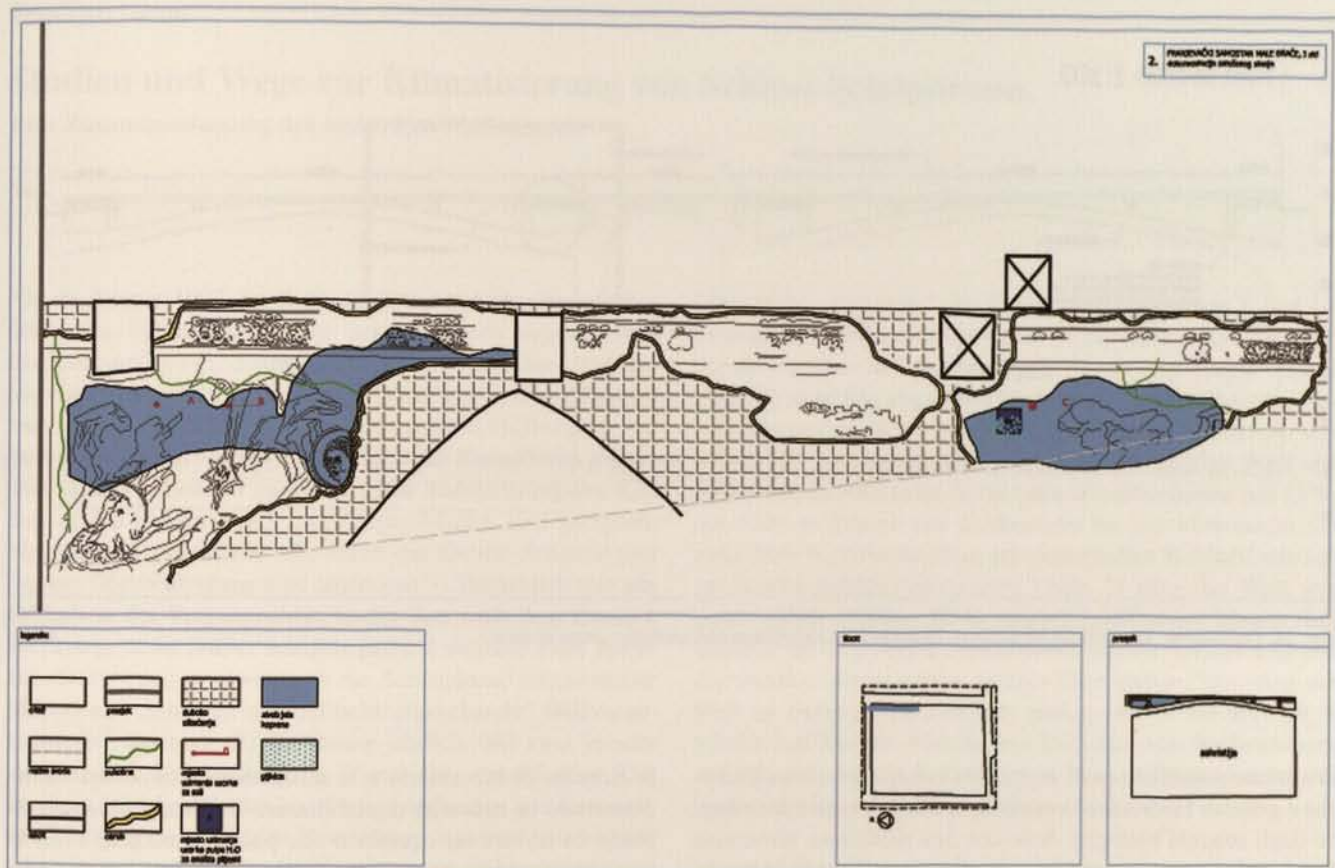


Fig. 23. Dubrovnik, Franciscan Monastery *Mala braća*, room above sacristy vault, east wall: graphic documentation of conservation-restoration works.

water-soluble salts, which is one of the basic prerequisite conditions for preserving the remained fragments of medieval wall paintings.

Zusammenfassung

Raumklimatische Messungen und Laboruntersuchungen in Denkmälern mit mittelalterlichen Wandmalereien an der kroatischen Adriaküste

Der Beitrag referiert die Ergebnisse naturwissenschaftlicher Untersuchungen, mit denen die Schadensursachen bei einigen stark gefährdeten Zeugnissen mittelalterlicher Wandmalerei in Kroatien analysiert wurden. Es handelt sich um Denkmäler an der mittleren und südlichen Adriaküste, im einzelnen um die Südapsis der Kathedrale Sankt Anastasia und eine Obergeschoßkapelle im Glockenturm der Marienkirche von Zadar, um die Unterkirche der Kathedrale Unserer Lieben Frau in Dubrovnik und einen Raum über der Sakristei des dortigen Franziskanerklosters sowie um die Michaelskirche bei Ston auf der Halbinsel Pelješac. Verglichen wurden die Messungen von Temperatur und relativer Feuchte mit den Ergebnissen qualitativer und quantitativer Salzanalysen (X-ray-Diffraktometer) auf der einen und mikrobiologischen Analysen auf der anderen Seite. Die Untersuchungen sollten der Bestimmung der mikroklimatischen Bedingungen und der diese Bedingungen definierenden Faktoren dienen, um sowohl unter dem Aspekt der Salzbelastung wie der mikrobiologischen Schädigungen verträglichere raumklimatische Voraussetzungen für den präventiven Schutz

und die Konservierung der Wandmalereien festzulegen. Laboruntersuchungen und Klimamessungen zeigten die Notwendigkeit eines stabilen Raumklimas, um die vorhandenen wasserlöslichen Salze in Lösung zu halten und die durch Auskristallisierung entstehenden Schadensprozesse zu vermeiden.

Sommario

Misurazioni ambientali e ricerche di laboratorio nei monumenti con pitture murali della costa adriatica croata

Il contributo riferisce i risultati delle ricerche scientifiche sulle pitture murali medioevali in Croatia, le quali sono attaccate ad un grave degrado causato da sali solubili. Le analisi chimiche sui sali solubili – sia quantitative che qualitative – e le analisi microbiologiche sono state eseguite su diversi monumenti storici con resti di pitture murali situati lungo la costa adriatica centrale e meridionale della Croatia. Tra questi si ricorda l'apside meridionale della Cattedrale di Sant'Anastasia e una capella superiore nella torre campanaria di Santa Maria di Zadar, della cripta della Cattedrale della Beata Vergine a Dubrovnik e dell'ambiente soprastante l'estradosso della volta nel convento francescano di *Mala braća* nella medesima città e, infine, della chiesa di San Michele presso Ston sulla penisola di Pelješac. Sono stati confrontati i dati delle misurazioni su temperatura e umidità sia con i risultati delle analisi qualitative e quantitative dei sali, sia con i dati delle analisi biologiche. Le ricerche erano

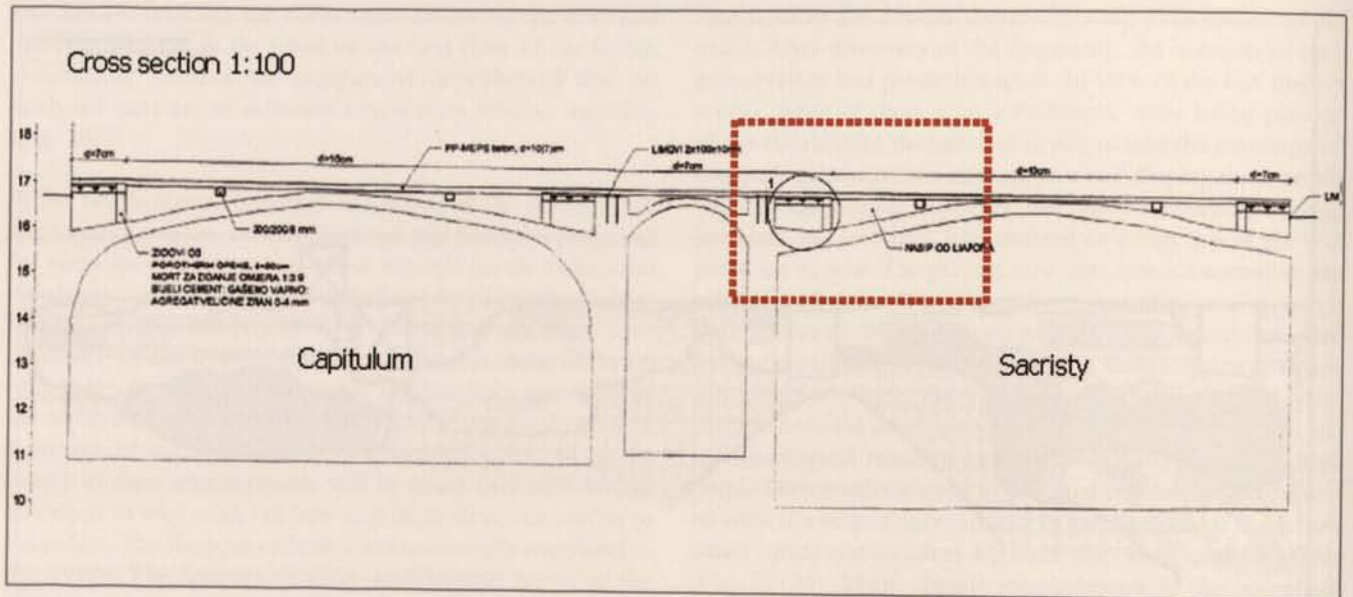


Fig. 24. Dubrovnik, Franciscan Monastery *Mala braća*, capitulum and sacristy: cross section.

finalizzate a stabilire quali particolari condizioni microclimatiche e generali favorivano la cristallizzazione dei sali e lo sviluppo degli attacchi biologici. Solo con una protezione preventiva e con corrette premesse climatiche si potevano creare le condizioni per una corretta conservazione delle pitture murali. Tutte

le ricerche di laboratorio e le misurazioni climatiche hanno dimostrato la necessità di stabilizzare il clima ambientale in modo da trovare un equilibrio che possa mantenere i sali in soluzione, impedendo, così, il verificarsi del dannoso processo della cristallizzazione.

Bibliography

- Giuseppe BERSA, L'arca e la Cappella di S. Anastasia nel duomo di Zara, in: *Bollettino di Archeologia e storia dalmata* XXXI, Split 1908, p. 11–26.
- Cvito FISKOVIĆ, Naši graditelji i kipari XV. i XVI. stoljeća u Dubrovniku, Zagreb 1947.
- Daniel V. THOMPSON, *The materials and techniques of medieval paintings*, New York, 1956.
- Cvito FISKOVIĆ, *Dalmatinske freske*, Zagreb 1965.
- Ksenija RADULIĆ, Konzervatorski zahvati poslije oslobođenja u kompleksu sv. Marije, in: *Zadarska revija*, 1967, br. 2–3.
- Ivo PETRICIOLLI, *Umjetnička baština samostana sv. Marije u Zadru* (Kulturna baština samostana sv. Marije u Zadru), Zadar 1968.
- Nada KLAJČIĆ i Ivo PETRICIOLLI, *Zadar u srednjem vijeku II (do 1409.)*, Zadar 1976.
- Tomislav MARASOVIĆ, Vladimir GVOZDANOVIĆ, Sena SEKULIĆ-GVOZDANOVIĆ i Andre MOHOROVIĆIĆ, *Prilozi istraživanju starohrvatske arhitekture*, Split 1978.
- Katalog radova Restauratorskog zavoda Hrvatske. "Godišnjak za zaštitu spomenika kulture Hrvatske", 12, 1986.
- Justin V. VELNIĆ, *Samostan Male braće – povijesni prikaz života i djelatnosti*. (Samostan Male braće u Dubrovniku). Kršćanska sadašnjost Zagreb – Samostan Male braće u Dubrovniku 1986.
- Igor FISKOVIĆ, *Romaničko slikarstvo u Hrvatskoj*. Muzej za umjetnost i obrt, Zagreb 1987.
- Josip STOŠIĆ, *Prikaz nalaza ispod katedrale i Bunićeve poljane u Dubrovniku* (Arheološka istraživanja u Dubrovniku i dubrovačkom području). Hrvatsko arheološko društvo, sv. 12, 1987, Zagreb 1988.

- Željko PEKOVIĆ, *Dubrovnik, nastanak i razvoj srednjovjekovnoga grada* (Dubrovnik, La fondation et le développement de la ville médiévale), Split 1988.
- Andreas ARNOLD and Konrad ZEHNDER, *Monitoring Wall Paintings affected by soluble Salts*, in: *The Conservation of Wall Paintings* (Proceedings of a symposium organized by the Courtland Institute of Art and the Paul Getty Institute, London, July 13–16, 1987), Getty Conservation Institute 1991, pp. 103–135.
- Enciklopedija hrvatske umjetnosti*, 1–2, Zagreb 1995/96.
- Antun NIČETIĆ, *Povijest dubrovačke luke*, Dubrovnik 1996.
- Cliford PRICE, *An Expert Chemical Model for determining the environmental conditions needed to prevent salt damage in porous materials*, European Communities 2000.
- Hrvoje MALINAR, *Vlaga u povijesnim grad-evinama*, "Mala biblioteka Godišnjaka zaštite spomenika kulture Hrvatske", Zagreb 2003.
- Jagoda MEDER, *Podni mozaici u Hrvatskoj od 1. do 6. stoljeća* (Floor Mosaics in Croatia from the 1st to the 6th Century), Zagreb 2003.
- Milan PRELOG, *Pitanje katedrale* (Tekstovi o Dubrovniku), Zagreb 2003.

Photo credits

Fig. 1–24: Fototeka, Hrvatski restauratorski Zavod, Zagreb.

Studien und Wege zur Klimatisierung von Schloss Schönbrunn.

Eine Zusammenfassung der bisherigen Maßnahmen¹

Als im August 1992 die Republik Österreich die Agenda des Schlosses Schönbrunn einer privatrechtlich organisierten Betriebsgesellschaft, der Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft m. b. H., übertrug, fand sich in dem Managementvertrag auch ein Passus, der eine gewisse Hilflosigkeit der damaligen Bauverwaltung allen Fragen des Raumklimas gegenüber erkennen ließ. Es hieß dort: „Zur Stabilisierung des Klimas in den Schauräumen des Hauptgebäudes sind geeignete Maßnahmen zu treffen; z.B. durch das Gebot: Schirme und feuchte Oberbekleidung sind abzulegen“². Tatsächlich war das Schloss in der Vergangenheit, in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg, nicht immer adäquat genutzt worden: Dies betraf allerdings weniger etwaige in die Schauräume mitgebrachte Mäntel und Schirme, als vielmehr „rauschende“ Ballveranstaltungen, die nach der Besetzung jährlich, und zwar jeweils im Februar – ausgerechnet im Winter also – stattfanden. Die enormen Schäden, die das kurzfristige Aufheizen und die extensive Nutzung der zentralen Prunkräume verursachten, wurden schon in den späten 50er-Jahren zumindest erahnt. Wider besseren Wissens hielt man an den Ballvergünstigungen fest, ja fühlte sich sogar veranlasst, diese in den 60er-Jahren durch einen speziellen Ministerratsbeschluss zu institutionalisieren. In den 70er- und 80er-Jahren setzten auf internationaler Ebene verstärkt naturwissenschaftliche Untersuchungen zum Raumklima in Museen, Archiven und historischen Gebäuden ein, die – auch wenn zunächst kontrovers geführt – zu einer Sensibilisierung der Verantwortlichen diesem Thema gegenüber führten. 1990 zeigte die Forschung Früchte: Das Bundesdenkmalamt veranlasste für dieses und das Folgejahr eine für Schönbrunn erstmalige längerfristige Messkampagne in den sensiblen Prunkräumen des Schlosses, darunter auch in jenen Räumen, in denen die jährlichen Winterbälle stattfanden³. So konnte der raum-

klimatische „Supergau“ der Ballveranstaltungen am 3. und 10. Februar 1991 dokumentiert werden. Der Verlauf: Am Vorabend der ersten Veranstaltung wurde die Große und Kleine Galerie (Abb. 3) samt den angrenzenden Räumen – inklusive dem ovalen chinesischen Kabinett (Abb. 1) – binnen acht Stunden von 8° auf 24° aufgeheizt, der ohnehin schon niedrige Wert von 30% relative Luftfeuchte fiel auf den abenteuerlichen von 12%, um dann ab Beginn des Ballbetriebs bis um Mitternacht auf zirka 50% hochzuschnellen; im chinesischen Kabinett mit seiner hochsensiblen Ausstattung (Abb. 1) stieg der Wert von zuvor relativ stabilen 30% relative Luftfeuchte binnen fünf Stunden auf 65%. Noch dramatischer war der Verlauf während der zweiten Veranstaltung wenige Tage später: Nun stieg der Wert im chinesischen Kabinett analog von 45 auf über 80% relative Luftfeuchte. Mündlichen Berichten von Ballbesuchern zufolge soll damals Kondensat in kleinen Rinnsalen an der Lackvertäfelung erkennbar gewesen sein⁴.

Mit den Messdaten des Bundesdenkmalamts und den damit unleugbar verknüpften, mittelbar, ja sogar unmittelbar absehbaren Schäden an der wertvollen Ausstattung konfrontiert, entschied die verantwortliche Dienststelle im Ministerium noch im Frühjahr 1991, künftig während der Heizperiode keine Massenveranstaltungen mehr zuzulassen. Alle weiteren klimastabilisierenden und konservatorischen Maßnahmen im Schloss wurden in der Folge der neu gegründeten Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft m. b. H. übertragen⁵.

Es ist kein Geheimnis, dass die Aktivitäten der neuen Betriebsgesellschaft von Teilen der Bevölkerung und auch der Medien mit Argusaugen beobachtet und bisweilen auch kritisch kommentiert wurden. Geflissentlich übersah man dabei mitunter, dass die Republik weiterhin Eigentümerin des Schlosses im bisherigen Umfang bleibt und nach § 3 des Übertragungsvertrages die Gesellschaft lediglich „alle übertragenen Aufgaben im eigenen Namen und auf eigene Rechnung durchzuführen hat“, wobei dies „insbesondere für die Vorbereitung und Durchführung von baulichen Maßnahmen“, mithin auch von allen Restaurierungen, gelte⁶. Dennoch formierte sich die allerdings vage Kritik an der Gesellschaft, dass diese angeblich zwecks Profitmaximierung die pflegliche Erhaltung des historischen Erbes hintanstellen könnte bzw. sogar täte. Indirekt zielte man dabei vor allem auf die enormen Besucherströme von bis zu 8.000 Gästen pro Tag, die – so war die landläufige Meinung – nicht ohne Wirkung auf das Raumklima bleiben und vor allem durch nennenswerte Schwankungen im Rhythmus wechselnder Besucherzahlen Schäden an der Ausstattung verursachen könnten. Jedenfalls musste die Gesellschaft reagieren, um ihren Ruf, in allen Fragen der Denkmalpflege vorbildhaft zu agieren, weiter auszubauen und zu festigen.

Denn sollte sich tatsächlich herausstellen, dass die hohen Besucherzahlen das Raumklima negativ beeinflussen, so hätte man mit einer restriktiven Reduktion der Besucher diesem

¹ Dieser Beitrag ist die geringfügig erweiterte und mit Anmerkungen versehene Fassung des gesprochenen Vortrags. Im wesentlichen wurden die Forschungsergebnisse von Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Kippes, Direktor der Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft m. b. H., und von Dr. Jochen Käferhaus, Langenzersdorf, referiert. In diesem Zusammenhang sei auf folgende Fachpublikationen verwiesen: W. KIPPES, Raumklima in historischer Bausubstanz. Ein Beitrag zur materialwissenschaftlichen Begründung der Denkmalpflege, maschschr. Dissertation an der Technischen Universität Wien (Institut für Kunstgeschichte, Denkmalpflege und Industriearchäologie), Wien 1999; Jochen KÄFERHAUS, Kontrollierte natürliche Lüftung und Bauteilheizung als probate Mittel der Schadensprävention am Beispiel von Schloss Schönbrunn, in: F. P. BOODY, H. GROSSE-SCHMIDT, W. KIPPES, M. KOTTERER (Hrsg.), Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung (Wissenschaftliche Reihe Schloss Schönbrunn, Bd. 9), Wien 2004, S. 49–76.

² KIPPES, Raumklima (zit. Anm. 1), S. 100.

³ Ebenda, S. 101 und Anm. 4; in der Beilage 4 und 5 ein Verzeichnis der Messstellen und eine graphische Darstellung der Messergebnisse.

⁴ Ebenda, S. 103 f.

⁵ Ebenda, S. 104.

⁶ Ebenda, S. 104, Anm. 9.



Abb. 1. Wien, Schloss Schönbrunn, Chinesisches Kabinett.



Abb. 2. Wien, Schloss Schönbrunn, Miniaturenkabinett.

konservatorischen Problem begegnen müssen, was wiederum Einfluss auf die Einnahmen und damit wiederum Einfluss auf die zweckgebundene Finanzierung bitter notwendiger – oft schon seit Jahrzehnten ausstehender – Restaurierungen bedeutet hätte. Erinnert sei beispielsweise daran, dass die „Römische Ruine“ von Johann Ferdinand Hohenberg von Hetzendorf (erbaut 1778) zum Zeitpunkt der Übergabe de facto einsturzgefährdet war!⁷ Jedenfalls wäre die zentrale Management-Strategie der Gesellschaft, möglichst hohe Einnahmen in möglichst viele vorbildhafte Restaurierungen zu investieren, mithin in Gefahr gewesen.

Man beschloss, repräsentative Messkampagnen zunächst über einen Zeitraum von drei Jahren durchzuführen, um Einflussfaktoren auf das Raumklima näher zu präzisieren. Es waren dies Einflüsse 1) des Besucherstroms; 2) Einflüsse von Sonderveranstaltungen (Konzerte etc.); 3) Einflüsse, ausgelöst durch innerbetriebliche Maßnahmen des Raumpflege- und Aufsichtspersonals und schließlich 4) Einflüsse des Außenklimas. Die Kampagne einleitend wurden diverse Messpunkte festgelegt: Einer im Außenbereich, und zwar im großen Kaiserhof, der permanent beschattet ist, weshalb hier auch keine größeren Temperaturschwankungen durch zeitweise direkte Sonneneinstrahlung zu erwarten waren. Im Inneren des Schlosses wurden in der Belle Etage Messpunkte in zwei Räumen, dem Ostterrassenkabinett und dem Miniaturenzimmer (Abb. 2), installiert, die beide nach Osten orientiert sind und beide ein vergleichbares, verhältnismäßig kleines Raumvolumen aufweisen. Bei allen Gemeinsamkeiten unterscheiden sich diese Räume allerdings dadurch, dass der eine durch eine geschlossene Glastüre vom Besucher, aber auch vom Aufsichtspersonal abgeschnitten ist, während durch den anderen praktisch der gesamte Besucherstrom mit allen, wie wir sehen werden, Begleiterscheinungen, geschleust wird. Nach ersten interessanten Auswertungsergebnissen⁸ wurde die Kampagne 1997 fortgesetzt, wobei nun zusätzlich auch Messdaten erhoben wurden in der Großen Galerie – in zwei verschiedenen Höhen –, im Nussholzzimmer sowie im Gelben Salon, wobei letzterer aufgrund seiner südseitigen Lage nicht gelüftet werden durfte⁹. Eine repräsentative Auswahl aus der ungeheuren Flut an Messdaten hat Wolfgang Kippes in seiner Dissertation vorgenommen und im Rahmen einer Auswertung die komplexen Zusammenhänge übersichtlich dargestellt. Aus Zeitgründen muss hier auf eine Wiedergabe der Einzeldaten verzichtet werden. Im Folgenden lediglich die grundlegenden Erkenntnisse: „Unter den gegebenen messtechnischen und bauphysikalischen Bedingungen in den Prunkräumen kann kein nennenswerter Zusammenhang zwischen dem Besucherbetrieb und den Schwankungen des Raumklimas festgestellt werden“¹⁰. Auch diverse kulturelle Veranstaltungen, die nur in den Sommermonaten und in der Großen Galerie mit maximal 400 Personen stattfinden dürfen, unterscheiden sich hinsichtlich der Messdaten kaum von jenen eines hektischen Publikumbetriebs während eines hoch belasteten Besuchertages¹¹. Umgekehrt konnte aber von Kippes beobachtet werden, dass zu bestimmten, stets wiederkehrenden Tageszeiten, jeweils für verhältnismäßig kurze Dauer, extreme Klimaschwankungen im Inneren zu verzeichnen sind, die – nach penibler Rekonstruktion der betrieblichen Abläufe – ihre hauptsächliche Ursache nur in dem unautorisierten Öffnen der Fenster durch das Raumpflege- und Aufsichtspersonal gehabt haben konnten. Die so entstehenden Stoß- und vor allem Querlüftungen führten in der Folge zu einem raschen Luftwechsel, wobei das Außen-

klima mit nur geringfügiger zeitlicher Verzögerung unkontrolliert und ungebremst Einfluss auf das Klima im Inneren des Schlosses nehmen konnte, und zwar in jenen Räumen, die dem Hauspersonal zugänglich waren. Die durch das massive Außenmauerwerk gebildete Hülle wurde dort also zeitweise „perforiert“ und verlor so weitgehend ihre bauphysikalisch bedingte, die Schwankungen zwischen Außen- und Innenklima verzögernde und Amplituden dämpfende Wirkung. Die hohe Besucherzahl beeinflusste also lediglich indirekt das Mikroklima im Schloss, als die Anzahl und Dauer der Lüftungsvorgänge proportional zur Anzahl der Besucher stehen.

In der Folge wurde ein internationales Forschungsvorhaben ins Leben gerufen, das den Einfluss des Außenklimas auf das Innenklima noch näher untersuchen und präzisieren sollte. Das Projekt wurde innerhalb EUROCARE, der EUREKA – Initiative für die Denkmalpflege, abgewickelt¹². Vorrangig galt es zu erheben, wie natürliche Luftvolumenströme verlaufen, wodurch sie verursacht werden und welcher Luftwechsel dadurch bewirkt wird¹³. Die traditionell verwendeten Messkriterien „Temperatur“ und „relative Luftfeuchte“ wurden nun um einen entscheidenden Parameter, die Luftwechselzahl, erweitert. Auf einen Nenner gebracht, bestimmt deren numerische Größe das Ausmaß der Wechselwirkung zwischen Außen- und Innenklima und ist daher als einer der entscheidenden Faktoren für die Schwankungen des Raumklimas anzusehen.

So war es eine der vordringlichen Aufgaben der Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft m. b. H., zunächst einmal den Einfluss des Außenklimas auf das Raumklima durch Reduktion der Luftwechselzahl zu minimieren. Eine erste und gleichzeitig überaus effektive Maßnahme war die Einführung einer verpflichtenden, restriktiv gehandhabten Regelung des Lüftungsverhaltens für das Hauspersonal. Zu bedenken galt es aber auch, dass sich die Luft-Infiltrationsrate nicht nur aus der kontrollierten, sondern auch aus der unkontrollierten Luftzufuhr durch Fenster-, Bau- und sonstige Öffnungsfugen zusammensetzt. So wurden weiters die insgesamt vier Innenhöfe nach

⁷ Die statische Konsolidierung und Restaurierung der „Römischen Ruine“ ist mittlerweile abgeschlossen; vgl. Friedrich DAHM (Hrsg.), Die Römische Ruine im Schlosspark von Schönbrunn. Forschungen – Instandsetzung – Restaurierung (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 8), Wien 2003.

⁸ KIPPES, Raumklima (zit. Anm. 1), S. 105 ff.; ad Miniaturenkabinett S. 108 f.; ad Ostterrassenkabinett S. 109; ad Außenklima S. 110; vgl. dazu die Schaubilder im Anhang, Beilage 8.

⁹ Ebenda, S. 112–118.

¹⁰ Zitat nach: ebenda, S. 119.

¹¹ Ebenda, S. 115.

¹² EUROCARE Projekt EU 1383 – Preventive Conservation. Teilnehmer aus der Bundesrepublik Deutschland, Schweden, Slowenien und Österreich haben zwischen 1995 und 1999 insgesamt 28 Berichte erstellt. Die Ergebnisse wurden in F. BOODY et al., Klima in Museen und historischen Gebäuden (zit. Anm. 1), publiziert.

¹³ Für Schloss Schönbrunn: Wolfgang KIPPES, Climate Management and Air Flow Control – Zu den Ursachen der Raumklimaschwankungen in Schloß Schönbrunn, in: Report Nr. 3, Austria within EU 1383 PREVENT, Wien 1997; vgl. auch: W. KIPPES, Haustechnik, Heizung und Klimastudien, in: Manfred WEHDORN (Hrsg.), Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsges. m. b. H. 10 Jahre Denkmalpflege 1992 – 2002, Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 7, Wien 2002, S. 29 ff., mit weiteren Lit.-Angaben in Anm. 4.



Abb. 3. Wien, Schloss Schönbrunn, Kleine Galerie.



Abb. 4. Wien, Schloss Schönbrunn, Ostfassade.

und nach mit einer zarten Glas-Metall-Konstruktion überdacht, um ungewollte, quer durch die Schauräume verlaufende Luftströmungen spürbar abzusenken¹⁴. Sodann wurde an einem historischen Kastenfenster im so genannten „Reichen Zimmer der Kaiserin“ Fugendichtheitsmessungen, und zwar an der Baukörperanschlussfuge und an der Falzfuge vorgenommen. Diese ergaben, dass die Zahl des Luftwechsels im wesentlichen von der Windgeschwindigkeit und dem Temperaturgefälle von Innen nach Außen abhängt, wobei diese beiden Parameter jahreszeitenbedingt großen Schwankungen unterliegen. Als Richtwert kann bei den historischen Kastenfenstern in Schönbrunn davon ausgegangen werden, dass in geschlossenem Zustand im Winter ein einfacher Luftwechsel stattfindet, während unter gleichen Bedingungen im Sommer dieser Wert entsprechend geringer ausfällt¹⁵. Obwohl diese Infiltrationen als (weitgehend) unbedenklich einzustufen sind, wurde – auch um von allfälligen Kapriolen des Außenklimas unabhängig zu sein – veranlasst, die Fensterfugen und Öffnungen reversibel abzudichten und darüber hinaus in den nach Installation der Hofüberdachungen neu geschaffenen Eingangsbereichen zusätzlich Schleusen und Pufferräume zu schaffen¹⁶. Denn: „Nur ein abgeschlossener Luftraum kann klimastabilisiert werden“¹⁷. Erst damit waren die Voraussetzungen für eine kontrollierte Klimatisierung der Räume geschaffen.

Nun galt es, sich zwischen zwei weiteren Vorgangsweisen zu entscheiden. Die eine war, mit einer entsprechend aufwendigen Haustechnik das Klima in den Schauräumen zu kontrollieren und die Werte für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit während des ganzen Jahres starr innerhalb einer definierten Bandbreite zu halten. Eine Überprüfung der in den letzten Jahrzehnten angewandten Methoden zur Klimatisierung hochwertig ausgestatteter und museal genutzter Prunkräume in Schlössern und vergleichbaren Gebäuden sowie eine kritische Sichtung der darauf bezogenen einschlägigen Fachliteratur durch Wolfgang Kippes ließ allerdings ein sukzessives Abgehen von dogmatischen klimatischen Vorgaben einerseits und eine kritische Positionierung gegenüber hochtechnologischem Equipment andererseits erkennen¹⁸. Entsprechende, von Michael Kotterer konkretisierte Vorbehalte waren, dass Installation und laufender Betrieb solcher Anlagen extrem kostenintensiv sind, die Anlagen von sich aus, aber auch bedienungsbedingt, anfällig sind und bei einem potentiellen Ausfall das Raumklima kurzfristig und unkontrollierbar derart kritische Werte annehmen kann,

dass nachhaltige Schäden für Kunstwerke und Ausstattungen nicht ausgeschlossen werden können¹⁹. Darüber hinaus kam für Schönbrunn eine solch aufwendige haustechnische Anlage schon allein deshalb nicht in Betracht, als deren praktische Implementierung mit allen Geräten und Zu- und Abluftverrohrungen massive und wohl auch irreversible Eingriffe in die historische Bausubstanz und Ausstattung verursacht hätte.

So entschloss man sich, einen anderen, in der Fachliteratur ab den 90er-Jahren beschriebenen Weg einzuschlagen, den der Akzeptanz eines „saisonal gleitenden Raumklimas“²⁰. Im Zentrum der Überlegung steht das Faktum, dass mit den bauphysikalischen Eigenschaften der massiven Außenmauern als „Pufferhülle“ das Außenklima mit seinen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen nur stark gedämpft Einfluss auf das Innenklima nimmt. Dies bedeutet, dass die die Werte für Raumtemperatur und relative Feuchte anzeigenden Kurven einen zwar in Abhängigkeit zum Außenklima stehenden, dabei aber langsam steigenden bzw. fallenden Verlauf nehmen. Demzufolge gestalten sich auch die Übergänge von Sommer- und Winterhalbjahr gleitend, wobei – von der Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft als Rahmenbedingungen formuliert – die Raumtemperaturen im Winter langsam auf minimal 5°C abfallen und im Frühjahr und Sommer gleichfalls langsam

¹⁴ In den mit einer zarten Glas-Metall-Konstruktion überdachten Höfen wurden die neuen Service- und Aufenthaltsräume – Kassen, Garderoben etc. – für ankommende Besuchermassen und -gruppen untergebracht; nach einem ausgeklügelten System werden nun mit kodifizierten Tickets kleinere Gruppen zusammengefasst und zeitgestaffelt auf verschiedenen Touren durch unterschiedliche Raumfolgen durch das Schloss bzw. durch Teile desselben geführt bzw. geleitet. Zu den baulichen Maßnahmen vgl. M. WEHDORN (Hrsg.), Denkmalpflege (zit. Anm. 13), S. 43 ff.

¹⁵ KIPPES, Raumklima (zit. Anm. 1), S. 140 ff.; zur Geschichte der Fensterkonstruktion vgl. S. 143 ff.; vgl. auch KÄFERHAUS, Kontrollierte natürliche Lüftung (zit. Anm. 1), S. 60 ff. mit einer Systemskizze der Versuchsanordnung in Abb. 6.

¹⁶ Vgl. die Angaben in Anm. 14.

¹⁷ Michael KOTTERER, Standardklimawerte und Haustechnik für Museen und historische Gebäude in der Diskussion, in: F. BOODY et al., Klima in Museen und historischen Gebäuden (zit. Anm. 1), S. 77 ff., Zitat auf S. 84.

¹⁸ KIPPES, Raumklima (zit. Anm. 1), Kap. 5: Die Messung von Symptomen – Geschichte der Standards für das Raumklima in historischer Bausubstanz, Museen und Archiven, S. 80 ff.

¹⁹ KOTTERER, Standardklimawerte (zit. Anm. 17), Kap. 1: Zweifel an der Lösung Vollklimaanlage sind berechtigt, S. 81 ff.

²⁰ Henning GROSSESCHMIDT, Klimastabilisierung als Grundlage sachgerechter Bewahrung – Oder: Das temperierte Haus, sanierte Architektur und Großvitrine, in: Museum Aktuell, Nr. 37, München 1998, S. 1300 ff.; vgl. auch: KÄFERHAUS, Kontrollierte natürliche Lüftung (zit. Anm. 1), S. 51 f. (Grundsatzidee).

²¹ Ebenda (Käferhaus), S. 52.

²² KOTTERER, Standardklimawerte (zit. Anm. 17), S. 84 (Kap. 3: Lüften) mit weiterführender Lit.

²³ KIPPES, Haustechnik (zit. Anm. 12), S. 30.

²⁴ KIPPES, Raumklima (zit. Anm. 1), S. 120 ff. mit Lit.

²⁵ KÄFERHAUS, Kontrollierte natürliche Lüftung (zit. Anm. 1), S. 58 ff.

²⁶ Ebenda, S. 67 ff.; zu den Messdaten vgl. Diagramm auf S. 73; Kippes, Haustechnik (zit. Anm. 12), S. 30 f.

²⁷ Ebenda (Käferhaus), S. 66 (Luftvolumenmodell für die Schauräume im 1. Stock, Lage und Bewertung der Kamine [Abb. 10], Berechnungen der Abluft).

²⁸ Ebenda, S. 67 f., Abb. 12 (Skizze der Abluftventilatoren in den Kaminen).

gleitend auf 25 bis 30° C ansteigen können. Weiters sollte die relative Luftfeuchtigkeit in den Schauräumen den Wert von 40% nicht unter- und jenen von 60% nicht überschreiten²¹. Innerhalb dieser Vorgaben ist es für die schadensfreie Erhaltung der wertvollen Ausstattung von entscheidender Bedeutung, dass die entsprechenden Klimakurven einer möglichst geringen Änderungsgeschwindigkeit unterworfen – oder, mit anderen Worten: keinen kurzfristigen Amplitudensprüngen – ausgesetzt sind.

Neben der Einhaltung dieser Rahmenbedingungen war aber auch für die Bedürfnisse der Besucher nach geregelter Frischluftzufuhr Rechnung zu tragen. Die diesbezüglich unter anderem im Rahmen des oben genannten internationalen Forschungsvorhabens durchgeführten Messungen und Berechnungen haben ergeben, dass im Schauraubereich (eines Schlosses oder eines Museums) ein einfacher Luftwechsel pro Stunde ausreichend ist, wobei bei einer eher spärlichen Besucheranzahl dieser Wert auch reduziert, bei hoher Frequenz dagegen geringfügig vergrößert werden kann²². Da nun in Schloss Schönbrunn als der Nummer 1 unter den Tourismus-Attraktionen Österreichs ein extrem hohes Aufkommen von Besuchern gegeben ist, wurde von der Direktion der Betriebsgesellschaft eine Luftwechselzahl von (maximal) 1,5 pro Stunde als Richtwert festgelegt²³. Dies bedeutete, dass dem Schloss in einer noch zu erhebenden Menge sowie nach einem noch näher zu definierenden System Außenluft zugeführt werden muss. Zunächst wurden die Volumina der Schauräume im Schloss kalkuliert, um die Größenordnung der künftig umzuwälzenden Luft bestimmen zu können. Beim Vorgang der Versorgung des Schlosses mit entsprechend optimal konditionierter Frischluft schließlich griff man auf ein schon seit Jahrhunderten bekanntes System zurück, dessen praktische Umsetzung sich an einigen monumentalen Gebäuden aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch nachvollziehen ließ²⁴. Jochen Käferhaus hat an einem Beispiel, dem Corps de Logis der Neuen Burg auf dem Areal der Wiener Hofburg, ein solches System entdeckt, reaktiviert und in Publikationen beschrieben²⁵. Seine Ergebnisse seien hier kurz zusammengefasst. Das Corps de Logis, ab 1881 nach Plänen von Semper und Hasenauer errichtet, ist ein monumentales, über quadratischem Grundriss erbautes, viergeschossiges Gebäude (Abb. 5), dessen vier Trakte sich in Arkadenstellungen nach Innen zu einem großen, zentral gelegenen und mit einer Glas-Eisenkonstruktion überdachten Hof öffnen. Über einen großen Lufteinlass im nahegelegenen, etwa 500 Meter entfernten Burggarten wird durch einen Tunnel sowie durch ein wahres Tunnellabyrinth im Kellergeschoß des Bauwerks Luft für das Gebäude angesaugt. Diese Luft, die entlang der Wände der schier „endlosen“ Gänge streift, kann aufgrund der bauphysikalischen Eigenschaften des erdberührten Ziegelmauerwerks die Temperatur- und Feuchte-Spitzen kompensieren. Vom Kellergeschoß wird die entsprechend konditionierte Luft durch große Schächte mittels Schachtlüftung in die Schauräume eingebracht, von wo sie jeweils an den gegenüber liegenden Seiten des Raumes durch einen Abluftkanal, wiederum dem physikalischen Auftrieb folgend, über Dach geführt wird.

In der Frage, ob dieses System auf die Gegebenheiten des Hauptschlusses von Schönbrunn übertragen werden kann, erwies es sich als ein besonderer Glücksfall, dass in unmittelbarer Nähe, im südlichen Vorfeld des Gebäudes, ein etwa 300 Meter langer, mit Vollziegeln gemauerter unterirdischer Stollen



Abb. 5. Wien, Hofburg, Corps de Logis.

aufgefunden werden konnte. Dieser zirka 1,80 Meter hohe und 80 Zentimeter breite, gewölbte Gang regulierte ehemals den Mühlbach und diente überdies bis zur Errichtung der heutigen Kanalisation der Entwässerung des barocken Gartens. Messungen ergaben, dass sich selbst bei extremer Hitze im Sommer (+35,2°C) bzw. extremer Kälte im Winter (-16, 3°C) die Temperaturen der Stollenluft niemals über +21,7°C bzw. niemals unter -2,2°C bewegen. Zudem wird durch die hohe Wasserspeicherwirkung des Ziegelmaterials die Luft entsprechend befeuchtet. Der Stollen bot sich mithin ideal als „Quelle“ für die dem Schloss zuzuführende Frischluft an²⁶. Als Abluftkanäle wurden die historischen Kamine des Gebäudes in Erwägung gezogen: Zunächst aber mussten deren Anzahl und Lage erhoben, die Frage der Reaktivierung geklärt und schließlich die jeweiligen Kaminquerschnitte errechnet werden. Nun setzte man die einzelnen Ergebnisse mit den entsprechenden Raumvolumina in Relation: Berechnungen ergaben, dass bei einer angenommenen Luftgeschwindigkeit in den senkrechten Kanälen von 1 Meter pro Sekunde ein Luftwechsel von 1 bis 1,5 pro Stunde in den den Kaminen jeweils zugeordneten Räume gewährleistet werden kann²⁷.

Für die Realisierung des Be- und Entlüftungssystems waren nun (neben Stichkanälen zwischen dem historischen Stollen und dem Schloss) nur mehr Feinstaubfilter und Ventilatoren nötig. Die natürlich vorkonditionierte und gefilterte Frischluft wird mit geringem Überdruck mittels Quellluftverfahren im Erdgeschoss eingebracht, während gleichzeitig die „verbrauchte“ Luft in den Schauräumen des 1. Stocks durch die bestehenden Kamine abgeführt wird. Um über exakte Informationen über die aktuell fließenden Luftmengen zu verfügen, wurde von Jochen Käferhaus folgende Installation konzipiert und vor Ort realisiert: In den Abluftschläuchen, den Kaminen, wurden leicht laufende, waagrecht angeordnete Ventilatoren eingebracht, die auf Grund des natürlichen Auftriebs in Autorotation versetzt werden. Diese Daten werden erfasst, an die zentrale Leitstelle weitergegeben und dort die aktuell fließende Luftmenge errechnet und mit dem Sollwert verglichen. Bei allfälligen Abweichungen – oder aber auch bei besonders günstigen bzw. widrigen außenklimatischen Bedingungen – kann die Zufuhr durch entsprechende Klappen entweder unterbrochen oder aber den Ventilatoren genau so viel Strom zugeführt werden, um den exakt gewünschten Luftaustausch zu erzielen²⁸. Jedenfalls sorgt der (geringfügige) Unterdruck in den Schau-

räumen sowie der (geringfügige) Überdruck in der Erdschoss-Zone für einen gleichmäßigen natürlichen Luftstrom, der einerseits der wertvollen historischen Ausstattung keinen Schaden zufügen kann und andererseits von den Besuchern nirgends als störende Zugluft empfunden wird.

Das Konzept wurde im Westflügel des Hauptschlusses bereits umgesetzt und hat sich durchwegs bewährt. Derzeit (Oktober 2005) wird auch der Osttrakt des Schlosses mit derselben Technologie ausgestattet²⁹.

Summary

On the Indoor Climate in Schönbrunn Palace

When the Republic of Austria transferred the management of Schönbrunn Palace to a privately run organization, the Schönbrunn Palace Cultural Management Company, in August 1992, no measurement data or studies regarding the indoor climate of the state-rooms existed (with one exception). The new management feared that with as many as 8000 visitors daily the flow of tourists could have a negative impact on the indoor climate of the palace and could cause irreversible damage to the precious artistic fittings. Extensive measurements of the outdoor and indoor climate were undertaken immediately. Analyses showed first of all that the cause of the sometimes dramatic fluctuations in temperature and relative humidity in the interior was not so much the crowds of visitors but rather the guards' uncontrolled ventilation policies. The first step undertaken was to establish restrictive regulations for ventilation and to seal the window joints in order to minimize the unrestrained influence of the out-

door climate on the interior. Then a decision was made not to aim for constant year-round values for temperature and relative humidity in the state-rooms with the help of overinflated building services, but rather to use the building physics of the massive exterior masonry walls as a "buffer". Accordingly, the outdoor climate now has a time-delayed, amplitude muting effect on the indoor climate; in the interior the temperature and relative humidity exhibit a curve which is season-based but constant over the short term and which follows a smooth overall course. The temperatures now sink slowly to a minimum of 5° in the winter and rise slowly in spring and summer to c. 25°; the relative humidity remains between a minimum of 40 % and a maximum of 60 % with a low speed of change. In addition to the smooth course of changes in temperature and relative humidity, the fresh air exchange rate is also of great significance in regard to the indoor climate. The following plan has been developed for Schönbrunn: the number of air changes is set at c. 1, with a seasonally based fluctuation of +/- 0.5. Using a displacement ventilation system air is brought into the palace via a heat exchanger in the ground ("air fountain") – a historic masonry underground tunnel c. 30 meters in length is being used – and then is drawn off again through the numerous chimneys in the state-rooms. Depending on the outdoor climatic conditions the air intake can be stopped sometimes or can be maximized through ventilators in the chimneys.

The rudiments for the procedures presented here were developed by the Schönbrunn Palace Cultural Management Company over a period of c. 10 years and have been put into practice gradually.

²⁹ KIPPES, Haustechnik (zit. Anm. 12), S. 30 f.

Literaturverzeichnis

Wolfgang KIPPES, Climate Management and Air Flow Control – Zu den Ursachen der Raumklimaschwankungen in Schloß Schönbrunn, in: Report Nr. 3, Austria within EU 1383 PREVENT, Wien 1997.

Henning GROSSESCHMIDT, Klimastabilisierung als Grundlage sachgerechter Bewahrung – Oder: Das temperierte Haus, sanierte Architektur und Großvitrine, in: Museum Aktuell, Nr. 37, München 1998, S. 1300–1303.

Wolfgang KIPPES, Raumklima in historischer Bausubstanz. Ein Beitrag zur materialwissenschaftlichen Begründung der Denkmalpflege, masch.schr. Dissertation an der Technischen Universität Wien (Institut für Kunstgeschichte, Denkmalpflege und Industriearchäologie), Wien 1999.

Wolfgang KIPPES, Haustechnik, Heizung und Klimastudien, in: Manfred WEHDORN (Hrsg.), Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft m.b.H. 10 Jahre Denkmalpflege 1992–2002 (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 7), Wien 2002, S. 29 ff.

Friedrich DAHM (Hrsg.), Die Römische Ruine im Schlosspark von Schönbrunn. Forschungen – Instandsetzung – Restaurierung (Wissenschaftliche Reihe Schönbrunn, Bd. 8), Wien 2003.

Jochen KÄFERHAUS, Kontrollierte natürliche Lüftung und Bauteilheizung als probate Mittel der Schadensprävention am Beispiel von Schloss Schönbrunn, in: F. P. BOODY, Henning GROSSESCHMIDT, Wolfgang KIPPES, Michael KOTTERER (Hrsg.), Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung (Wissenschaftliche Reihe Schloss Schönbrunn, Bd. 9), Wien 2004, S. 49–76.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1–2: Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsgesellschaft m.b.H., Wien (Fotos: Alexander Koller); Abb. 3–5: Bundesdenkmalamt Wien (Fotos: Bettina Neubauer).

Auswirkungen von hydrophoben Fassadenmaterialien auf die Erhaltung und Pflegefähigkeit von Baudenkmalern.

Beobachtungen aus der Praxis

Einleitung

Verwitterungsvorgänge werden angetrieben durch das Bestreben der Materialien, sich in ein Gleichgewicht mit ihrer Umgebung zu begeben. Die Umgebungsbedingungen ändern sich jedoch ständig, so dass ein Gleichgewichtszustand, in welchem die Verwitterung zu einem Ende kommen würde, unter realen Bedingungen nie erreicht werden kann. Damit ist hier grundsätzlich vorausgeschickt, dass eine vollständige Verhinderung von Verwitterungsprozessen nur durch komplette Isolierung der betroffenen Baumaterialien von ihrer Umwelt zu erreichen wäre und damit für immobile, dem Wetter ausgesetzte Objekte unmöglich ist.

Obwohl es grundsätzlich unmöglich ist, Veränderungen durch Verwitterung bei gleich bleibender Exposition vollständig zu verhindern, wurde und wird verständlicherweise seit jeher versucht, Bauten vor den schädigenden Einwirkungen der direkten Bewitterung zu schützen. Zum Schutz vor Regen und Schnee wurden deshalb Schutzdächer, -bleche und -überzüge angebracht, und wo dies nicht möglich war, wird insbesondere bei Bausteinen und Mörteln versucht, durch entsprechende Ober-

flächenbehandlung das Material resistenter gegen die Einflüsse des Wetters zu machen.¹

Sinnvolle Schutzmaßnahmen schützen vor denjenigen Witterungseinflüssen, von welchen an einem bestimmten Objekt nachgewiesen werden konnte, dass sie Schädigung bewirken.² An Objekten, wo der Einfluss der Beregnung als wesentlicher Faktor für Schäden erkannt oder begründet vermutet wurde oder wird, wurden und werden daher Materialoberflächen oftmals hydrophobiert, also Wasser abstoßend gemacht oder für Oberflächenbeschichtungen wurden und werden Wasser abweisende Materialien verwendet.

Im Rahmen unserer Beratungstätigkeit zur Erhaltung historischer Bauten, werden wir immer wieder mit Objekten konfrontiert, welche einige Jahre zuvor hydrophobiert, mit hydrophoben Anstrichen versehen oder mit Wasser abweisenden Verputzen überzogen wurden. Es liegt in der Natur der Sache, dass wir nur Fälle zu Gesicht bekommen, bei welchen mit der Zeit Probleme auftraten. Deshalb kann hier keine systematische, allgemein gültige Darstellung der Auswirkungen von Hydrophobierungen auf jegliche Art von Baumaterialien gegeben oder angestrebt werden, denn dazu sind die beobachteten Einzelfälle allzu zufällig auf uns gekommen und für diesen Artikel ausgewählt worden.

Die systematische Aufarbeitung der Problematik wird zusätzlich dadurch be- respektive gar verhindert, dass solche baulichen Maßnahmen oftmals schlecht oder noch häufiger gar nicht dokumentiert worden sind. Meist fehlen sowohl Angaben zu den verwendeten Produkten, als auch zum Vorzustand des Objektes, und es sind in der Regel weder der Zeitpunkt, geschweige denn die Witterungsbedingungen bei der Ausführung der Maßnahmen bekannt. Für eine wissenschaftlich hieb- und stichfeste Beurteilung früherer hydrophobierender Maßnahmen am Einzelobjekt, müssten aber die Einzelheiten der Umstände bei der Ausführung der Maßnahmen und natürlich die verwendeten Materialien genau bekannt sein.³

Trotz dieser Nachteile scheint es die Häufigkeit des Auftretens von negativen Auswirkungen von Hydrophobierungen zu rechtfertigen, einige sich zu diesem Thema aufdrängenden Beobachtungen mitzuteilen. Die Schlüsse die sich aus den Beispielen ziehen lassen, können helfen zu entscheiden, ob eine hydrophobierende Maßnahme oder die Verwendung hydrophober Materialien am historischen Bauwerk im Einzelfall tatsächlich angezeigt sei oder eben nicht.

Wovor Hydrophobierungen schützen sollen – Verwitterung von porösen Baumaterialien im Regen

Die Art und Weise wie Bausteine und Mörtel, die der direkten Bewitterung ausgesetzt sind, verwittern, ist von Material zu Material verschieden und hängt von den lokal herrschenden Umgebungsbedingungen und den spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Baumaterialien ab.⁴ Der weitaus größte Teil der

¹ Einen Überblick über die diesbezüglichen Bemühungen im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts geben: Seymour Z. LEWIN, *The preservation of natural stone, 1838–1965, an annotated bibliography*, Art and Archaeology Technical Abstracts, 6, 1966, S. 185–277; und für den deutschen Sprachraum Christoph HERM, Stephan PFEFFERKORN und Rolf SNETHLAGE, *Historische Verfahren und Handelsmarken in der Steinkonservierung 1840–1940*, in: *Denkmalpflege und Naturwissenschaft. Natursteinkonservierung II*, Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1998, S. 9–26.

² Zur Herleitung von Konservierungsmaßnahmen aus den Schadensursachen: Christine BLÄUER BÖHM, *Ableiten von Konservierungsmaßnahmen aus dem Verwitterungsgeschehen*, in: *Tagungsbeiträge zu "Mauersalze und Architekturoberflächen"*, Hochschule für Bildende Künste Dresden, 1. – 3.2.2002, hg. von Heinz LEITNER, Stefan LAUE und Heiner SIEDEL, Dresden 2003, S. 84–89; und Sharon CATHER, *Assessing Causes and Mechanisms of Detrimental Change to Wall Paintings*, in: *Conserving the Painted Past: Developing Approaches to Wall Painting Conservation*, Post-prints of a conference organised by English Heritage, London December 1999, hg. von Robert GOWING und Adrian HERITAGE, London 2003, S. 64–74.

³ Die Umgebungsbedingungen wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Materialfeuchtigkeit und so weiter spielen eine wesentliche Rolle für das Verhalten der Materialien nach Hydrophobierungen: A. Elena CHAROLA, *Water Repellents and other "Protective" Treatments: a Critical Review*, in: *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege*, 9, 2003, Heft 1, S. 3–22.

⁴ Zur Bausteinverwitterung in Abhängigkeit von ihrer Wetterexposition siehe Alois KIESLINGER, *Zerstörungen an Steinbauten. Ihre Ursachen und ihre Abwehr*, Leipzig, Wien 1932; Francis DE QUERVAIN, *Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz, Teil I, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie*, 23. Lieferung, Bern 1945; R. J. SCHAFFER, *The Weathering of Natural Building Stones*, Facsimile of the 1932 edition, published by Construction Research communications Ltd, by permission of Building Research Establishment Ltd., London 1932.

Verwitterung geschieht unter Beteiligung von Wasser in irgendeiner Form. Im Außenbereich sind es insbesondere die Wetterfassaden, deren Verwitterung durch die direkte Beregnung beeinflusst wird. In solchen Fällen werden Materialoberflächen durch hydrophobierende Maßnahmen Wasser abstoßend gemacht, in der Hoffnung, sie dadurch länger zu erhalten.

Hydrophobierende Behandlungen von Materialoberflächen sind aber einzig an Flächen notwendig respektive sinnvoll, welche durch Bewitterung auch tatsächlich nass werden können. Solche Stellen sind direkt beregnete Flächen, Stellen, an denen Schnee liegen bleiben kann, oder Flächen, über die Wasser bei entsprechenden Bedingungen abfließt. Diese regelmäßig nass werdenden Fassadenflächen sind im Einzelfall nicht einfach zu erkennen. Die Beobachtung von Gebäuden bei Regen kann hier Hinweise geben (Abb. 1).

Für die Interpretation der Beobachtungen an regennassen Fassaden ist aber vieles zu beachten. So hängt es stark davon ab, wie schnell das vorhandene Baumaterial auftreffendes Wasser einsaugen kann, ob ein Bauteil bei Regen sichtbar nass erscheint oder nicht. Wenn jeder auftreffende Tropfen vom Material sofort in die Tiefe gesaugt wird, so wird die Fassade auch dann trocken erscheinen, wenn sie direkt beregnet ist. Umgekehrt werden schlecht saugende Materialien, auch wenn sie von geringen Niederschlagsmengen getroffen werden, sehr schnell und deutlich sichtbar nass.⁵ Wenn allerdings Fassadenflächen aus ein und demselben Material beim gleichen Regenereignis an verschiedenen Stellen unterschiedlich stark nass werden, so kann dies nur dadurch bedingt sein, dass manche Stellen von mehr Regenwasser getroffen wurden als andere. Die regelmäßige Beobachtung zeigt, dass Fassaden bei Regen höchst ungleichmäßig benetzt werden. Einerseits werden man-



Abb. 1. Bern, Bundesgasse 8, nach Norden exponierte regennasse Fassade aus Berner Sandstein (15.2.1990) mit sichtbar dunkleren Stellen, an denen die Steine oberflächlich nass sind: zum einen direkt beregnete Flächen, zum anderen Bereiche, an denen das Wasser durch Fugen oder Risse in den Gesimsen kanalisiert abfließt.

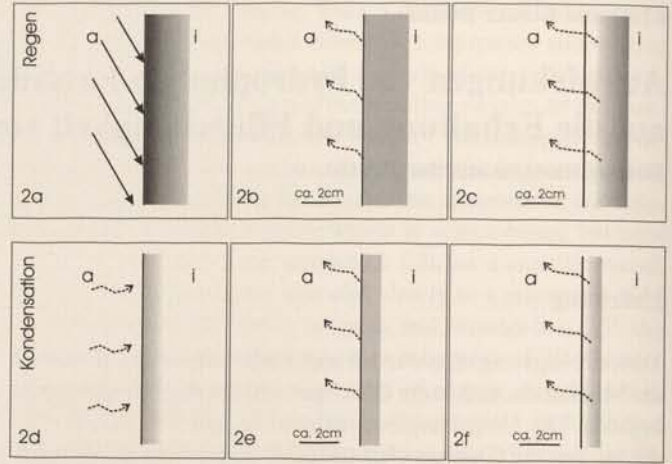


Abb. 2a-f. Schematische Darstellung der Benetzung respektive Trocknung von porösen Materialoberflächen bei Regen (a-c) sowie unter Kondensationsbedingungen (d-f), wobei die Intensität der Graufärbung ein Maß für den Wassergehalt ist (a = aussen; i = innen).

che Teile der Fassade durch vorspringende Bauteile vor auftreffendem Regen geschützt und bleiben trocken, und andererseits werden Teile, welche im Einflussbereich von kanalisiert abfließendem Wasser liegen, stärker benetzt als andere Bereiche (vgl. Abb. 1). Das Bild der Benetzung der verschiedenen Fassadenteile ändert sich zudem je nach den während des Regens herrschenden Windverhältnissen.

Bei der Entscheidung für oder gegen eine hydrophobierende Behandlung kann auf feine Unterschiede in der Beregnung respektive Benetzung innerhalb einer Fassade keine Rücksicht genommen werden. Fassaden werden also in der Regel vollflächig hydrophobiert, womit zwangsläufig auch Stellen behandelt werden, welche keinen Schutz vor auftreffendem Wasser benötigen würden. Auch werden normalerweise alle Fassaden eines Gebäudes behandelt, also auch diejenigen, welche kaum je vom Regen getroffen werden. Dies erscheint wahrscheinlich deshalb notwendig, weil es schwierig wäre festzulegen, wo die Maßnahme enden sollte, denn Hydrophobierungen verändern das Verhalten der Materialien sowohl gegenüber Wasser in flüssiger Form als auch gegenüber Wasserdampf. Damit würden nicht hydrophobierte Teile in einer hydrophobierten Umgebung zu Inhomogenitäten der Fassade führen, deren Alterungsverhalten unvorhersehbar wäre und damit unerwünscht erscheinen muss.

Flüssigkeits- und Gastransport in porösen, mineralischen Materialien

Für die Überlegungen zu den nachstehenden Fallbeispielen ist ein gewisses Verständnis der Transportvorgänge von Flüssigkeiten und Gasen im Porenraum der Materialien unabdingbar.

⁵ So sind Bauten aus Beton viel öfter sichtbar nass als solche mit besser saugenden Materialoberflächen.

⁶ Wo nichts anderes gesagt wird, basieren die nachstehenden Aussagen auf den Erläuterungen von Daniel JEANNETTE, Structures de porosité, mécanismes de transfert des solutions et principales altérations des roches des monuments, in: La pietra dei monumenti in ambiente fisico e culturale, Atti del 2° Corso Intensivo Europeo tenuto a Ravello e a Firenze dal 10 al 24 aprile 1994, Bari 1997, S. 49-77.

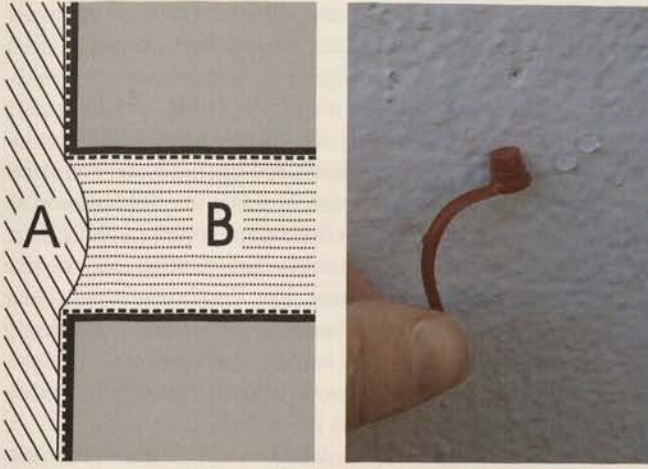


Abb. 3. Schematische Skizze des Schnitts durch eine Kapillarpore an einer hydrophobierten Oberfläche, auf welche Wasser (A) auftrifft; indem das Wasser die Porenwände nicht benetzen kann, wird das Eindringen in die offene Kapillare verhindert (grau = Material; schwarze dicke Linie = Porenwände; gestrichelte Linie = Hydrophobiermittel auf Porenoberflächen; A = Wasser; B = Luft; vgl. Anm. 14).

Abb. 4. Auf hydrophoben Oberflächen bleiben Wassertropfen hängen (Bildmitte bei der Verschlusskappe), oder sie laufen über die Oberfläche ab.

Im Folgenden werden daher die wirkenden Kräfte, soweit sie zum Verständnis des Weiteren notwendig erscheinen, qualitativ erläutert.⁶

Wie und wie schnell ein poröses Material Wasser oder andere Flüssigkeiten aufnimmt oder abgibt, hängt mit den Eigenschaften der Flüssigkeit, mit der Porosität des Materials und mit den Umgebungsbedingungen zusammen. Materialeigenschaften wie Porenvolumen, Porengrößen, Verbundenheit der Poren untereinander und so weiter entscheiden über diese Transportprozesse.

Kapillartransport

Kapillartransport im Porenraum, also das spontane Aufsaugen von Flüssigkeiten durch poröse Materialien, bedeutet immer, dass eine netzende fluide Phase, das heißt eine Flüssigkeit oder ein Gas, eine nicht netzende fluide Phase verdrängt. Im Falle des Eindringens von Wasser in eine Kapillare ist Wasser die netzende Phase, welche feuchte Luft, als die nicht netzende Phase, verdrängt. Dabei wird nicht der ganze Porenraum mit Flüssigkeit gefüllt, sondern das Gas wird in Form von Blasen meist in den größeren Poren eingeschlossen.

Die treibenden Kräfte beim Kapillartransport, sind einerseits die Fähigkeit der Flüssigkeit die Porenwände zu benetzen und andererseits die Oberflächenspannung an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Gas.

Kapillarer Wassertransport findet in Porenräumen mit Radien zwischen circa einem Millimeter und einigen Nanometern statt. Wasser oder andere Flüssigkeiten können dabei im Material grundsätzlich in alle Richtungen gleich gut und gleich schnell transportiert werden. Erst in Porenräumen ab etwa einem Millimeter oder größer, zum Beispiel in Grobporen von Kalksinter-tuffen oder Rissen im Material, wird der Einfluss der Schwerkraft so groß, dass Wasser durch sein Eigengewicht nur noch nach unten durch diese Porenräume sickern kann. Sind die

Porenräume dagegen kleiner als einige Nanometer, so kommt es darin bereits bei tiefen Luftfeuchtigkeiten zu Kapillarkondensation. Diese feinsten Porenräume sind deshalb unter Normalbedingungen in unseren Breiten mit der Flüssigkeit gefüllt.

Volumenmäßig gehört der weitaus größte Teil der Hohlräume fast aller Natur- und Bausteine sowie Putze in den Bereich der Kapillaren. Für die Verwitterung stellen die Kapillaren damit die wichtigste Porenklasse dar.

Die Geschwindigkeit, mit welcher Kapillaren Flüssigkeiten einsaugen, ist umso langsamer, je feiner die Kapillaren sind. Das Eindringen der Flüssigkeit verläuft linear zur Wurzel der Zeit, das heißt sie wird mit der Zeit immer langsamer. Bei horizontalem Eindringen geht dieser Saugvorgang theoretisch unendlich tief.

Kapillare Saugvorgänge finden zum Beispiel dann statt, wenn eine Materialoberfläche von direktem Regen getroffen wird, oder wenn auf ihr Schnee schmilzt. Die Eindringtiefe des Wassers ist hier abhängig von der Geschwindigkeit mit welcher das Material Flüssigkeiten saugen kann und natürlich auch von der Menge des auftreffenden Wassers und der Dauer des Regens.

Adsorption von Gasen auf Feststoffen (Kondensation auf Oberflächen)

Oberflächen von Feststoffen tragen eine gewisse Oberflächenladung. Befindet sich der Feststoff an feuchter Luft, so fixiert er je nach seinen Oberflächeneigenschaften, der herrschenden Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf seiner (inneren) Oberfläche eine oder mehrere Moleküllagen Wasser. Wenn diese adsorbierten Wasserlagen in sehr feinen Poren auftreten, können sich diese Poren ganz mit Wasser füllen, was als Kapillarkondensation bezeichnet wird.

An Bauten kommt es dann zu Kondensation, wenn kalte Materialoberflächen mit feuchter warmer Luft im Kontakt stehen. Diese Erscheinung ist oftmals in kühlen Innenräumen in Form von Tröpfchenbildung und Rinnsalen an Fensterscheiben zu beobachten, welche bei feuchtwarmem Wetter gelüftet werden. An porösen, mineralischen Oberflächen lässt sich Kondensation unter vergleichbaren Bedingungen nur deshalb nicht beobachten, weil hier das kondensierte Wasser sofort vom porösen Material aufgesaugt wird. Wenn also kalte Oberflächen von porösen Baumaterialien mit feuchter warmer Luft beaufschlagt werden, so werden die oberflächennahen Porenräume feucht.

Verdunstung respektive Trocknung

Die Geschwindigkeit der Austrocknung poröser Materialien wird einerseits von den Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Intensität der Luftbewegung bestimmt. Andererseits entscheidet die Beschaffenheit des Porensystems darüber, wie rasch Flüssigkeit vom Innern an die trocknende Oberfläche nachströmen kann und damit, ob die Flüssigkeit vor allem an der Oberfläche oder im Inneren des Materials verdunstet. Grundsätzlich werden Flüssigkeiten in feinen Poren stärker zurückgehalten als in groben. Feinkörnige Materialien haben in der Regel feinere Poren als grobkörnige. Deshalb kann z.B. bei Sandsteinen mit einer Wechsellagerung von feinkörnigen und grobkörnigen Lagen davon ausgegangen werden, dass die feinen Lagen nach einer Durchfeuchtung länger feucht bleiben als die groben.

Das Trocknen poröser Materialien erfolgt in der Regel zweiphasig. In einer ersten Phase erfolgt der Feuchtigkeitstransport



Abb. 5a-b. Bohrkern aus Berner Sandstein (Durchmesser 5,7 cm) von einer vor Jahren hydrophobierten Fassade, nachdem er für ca. 40 Minuten auf einem nassen Tuch Wasser aufgesogen hat (kenntlich an dunkler Verfärbung): vorderster Bereich (ca. 5 mm) hydrophob und daher trocken geblieben (a, rechts); in der Vorderansicht dunkler, feuchter Hof im unteren Teil durch nicht mehr hydrophoben Zustand der äußersten Oberfläche (b).

vom Materialinnern zur Oberfläche kapillar und damit rasch und in einer zweiten, sehr viel langsameren und mit der Zeit immer langsamer werdenden Trocknungsphase hauptsächlich gasförmig durch Dampfdiffusion. Die Dampfdurchlässigkeit eines Materials ist von seiner Porosität, der Schichtstärke und den herrschenden Umgebungsbedingungen abhängig.

Bei Materialien, die Wasser sehr gut kapillar transportieren können, überwiegt bei bestimmten Umgebungsbedingungen die erste, schnelle Trocknungsphase, denn hier wird der größte Teil des Wassers relativ rasch, kapillar zur Oberfläche transportiert, wo es dann in die Umgebung verdunstet. Bei schlecht kapillar leitenden Materialien kann dagegen die zweite, langsame Trocknungsphase so stark dominieren, dass die Verdunstung des Wassers fast ausschließlich im Materialinneren stattfindet.⁷

Grundsätzlich gesehen ist die Geschwindigkeit der Trocknung jedoch für fast alle porösen Baumaterialien sehr viel langsamer als die Flüssigkeitsaufnahme.⁸

Festzuhalten bleibt noch, dass unter realen Bedingungen immer ein wenig Feuchtigkeit in den Proben zurückbleibt und der Zustand einer vollständigen Trocknung, in unseren Breiten, an Außenfassaden nie erreicht wird.

Für den Wassertransport in nicht hydrophoben mineralischen Materialien gelten damit die folgenden, für die weiteren Betrachtungen hilfreichen Faustregeln:

- Je grobporöser ein Material ist, desto schneller saugt es Wasser kapillar auf und umgekehrt.
- Je schneller ein Material Wasser aufsaugt, desto schneller trocknet es auch wieder aus und umgekehrt.
- Der Vorgang des Trocknens dauert bei einem bestimmten Material ein Mehrfaches der Dauer des Vorganges der Benetzung.

Modellvorstellung über den Zustand von porösen Materialoberflächen bei Regen oder bei Kondensationsbedingungen

In Abbildung 2 wird versucht, die Vorgänge in der Oberfläche eines porösen Baumaterials während und nach einer Beregnung respektive der Beaufschlagung mit Kondensationsfeuchtigkeit schematisch darzustellen. Bei Beregnung (Abb. 2a) oder Kondensation (Abb. 2d) wird das Material nur in einem relativ dünnen Oberflächenbereich nass, wobei angenommen werden kann, dass das Material bei Regen bis in eine größere Tiefe feucht wird als bei Kondensationsereignissen.⁹ Anfänglich dürfte sich in beiden Fällen ein Feuchtigkeitsgradient mit nied-

rigeren Feuchtigkeitsgehalten im Materialinnern als nahe der Oberfläche ausbilden. Dieser dürfte sich aber spätestens beim Wechsel der Umgebungsbedingungen zu trockeneren Verhältnissen ausgleichen (Abb. 2b resp. 2e). Zu diesem Zeitpunkt beginnt auch die Verdunstung des Wassers aus der Materialoberfläche. Je nach den Umgebungsbedingungen und den Porositätseigenschaften des Baumaterials findet die Verdunstung an der Materialoberfläche oder im Steininneren statt (Abb. 2c resp. 2f). Die Trocknungsphase dauert bis zum nächsten Regen oder zur nächsten Kondensationsphase. Der Feuchtigkeitsgehalt der Oberfläche zum Zeitpunkt der erneuten Benetzung ist abhängig davon, wie nass das Material bei der vorhergehenden Benetzung geworden war, sowie davon, welche Umgebungsbedingungen während des Trocknens herrschten.

Durch Hydrophobierungen sollen in der Regel die Benetzungsvorgänge bei Beregnung verhindert werden, und dies möglichst ohne die Trocknungsvorgänge zu verzögern.

Hydrophobiermittel und Verhalten hydrophober Materialoberflächen gegenüber Wasser

Hydrophobierungen sollen das Material vor dem Eindringen von Wasser in flüssiger Form schützen.¹⁰ Dies wird bei den in unserem Zusammenhang bis heute am häufigsten verwendeten Hydrophobiermitteln auf Silan-Siloxanbasis¹¹ dadurch erreicht, dass die inneren Oberflächen der Poren mit Polymeren beschichtet werden,¹² welche die Oberfläche apolar und dadurch wasserabstoßend machen.¹³ Die Porenöffnungen bleiben bei

⁷ Solche Unterschiede im Trocknungsverhalten der Materialien führen dazu, dass unterschiedliche Materialien trotz identischer Umgebungsbedingungen vollständig anders verwittern. Beispiele in Steffen LAUE, Christine BLÄUER BÖHM und Daniel JEANNETTE, Salt weathering and porosity, examples from the crypt of St. Maria im Kapitol, Cologne, in: 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin 1996, S. 513–522.

⁸ Es kann ohne weiteres von einem mehr als hundertfachen Unterschied zwischen der Geschwindigkeit des Trocknens und des Nasswerdens ausgegangen werden. Siehe z.B. Messungen von Kapillarität und Trocknung eines Mikrits respektive eines Sandsteins in: Bénédicte ROUSSET TOURNIER, Transferts par capillarité et évaporation dans des roches – rôle des structures de porosité. Dissertation Université Louis Pasteur, Straßburg 2001, S. 94, 158 und 159.

⁹ Beobachtungen scheinen z.B. zu zeigen, dass die Eindringtiefe für Regenwasser für Berner Sandsteine in Bern im Bereich von 1 bis 2 cm liegt. Die Befeuchtungstiefe durch Kondenswasser, welches sich an kalten Oberflächen bildet, dürfte dagegen, vermutlich wegen der wohl geringeren Wassermenge, höchstens einige mm betragen.

¹⁰ CHAROLA, Water Repellents (Anm. 3), S. 6.

¹¹ CHAROLA, Water Repellents (Anm. 3), S. 5.

¹² Die Porenwände werden von einer Polysiloxanschicht von 0,015 bis 0,1 µm Dicke überzogen. Jan CARMELIET, Geert HOUVENAGHEL, Jos VAN SCHUNDEL und Staf ROELS, Moisture Phenomena in Hydrophobic Porous Building Material, Part 1: Measurements and Physical Interpretations, in: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, 8. Jahrgang, Heft 2/3, 2002, S. 165–183, bes. S. 169, dort zitiert aus: W. H. SCOUTEN, Activation of Porous Glass and Similar Supports for the Affinity Chromatography and Enzyme Immobilization. Proc. of the Silanes, Surfaces and Interfaces Symposium, Gordon and Breach Science Publishers, New York.

¹³ Christian FISCHER, Importance des propriétés pétrophysiques et des interactions physico-chimiques dans l'hydrofugation des roches par des silicones, Dissertation, Université Louis Pasteur, Strassburg 1993, S. 44 ff.

dieser Behandlung weitgehend offen. Es wird also im Idealfall lediglich der kapillare Wassertransport verhindert, nicht jedoch der Transport von Wasserdampf (Abb. 3).¹⁴

Ob eine Oberfläche hydrophob ist, lässt sich am Objekt selber oder an Materialproben einfach überprüfen, indem ein Tropfen Wasser vorsichtig auf die Oberfläche gesetzt wird. Wird der Wassertropfen aufgesogen, so ist die Oberfläche nicht oder nicht mehr hydrophob, bleibt der Wassertropfen an der Oberfläche hängen, perlt (Abb. 4) oder läuft er ab, ohne die Oberfläche sichtbar zu benetzen, so ist sie entweder hydrophob oder die Poren sind vollständig verstopft. Ob die Porenöffnungen für kapillaren Transport jeglicher Flüssigkeit verschlossen sind, lässt sich einfach dadurch überprüfen, dass ein Tropfen einer nicht polaren Flüssigkeit, zum Beispiel Alkohol oder Reinbenzin, auf die hydrophobe Materialoberfläche gebracht wird. Läuft auch diese Flüssigkeit ab oder bleibt der Tropfen stehen ohne aufgesaugt zu werden, so sind die Poren des Materials verstopft. Wird diese Flüssigkeit dagegen in die Materialoberfläche eingesaugt, so sind die Poren weitgehend offen und lediglich für den kapillaren Wassertransport unzugänglich.

Durch die hydrophobierte Oberflächenschicht ist nur noch dampfförmiger, also vergleichsweise langsamer Wassertransport möglich. Wenn aus irgendeinem Grund Wasser rasch von hinten an die hydrophobierte Oberflächenschicht gelangen kann, wird es dort unweigerlich gestaut. Deshalb muss bei Bauteilen, welche von hinten nass werden können, auf eine Hydrophobierung der äußeren Oberfläche verzichtet werden.¹⁵

Durch Hydrophobierungen wird der Dampfdiffusionswiderstand des behandelten gegenüber dem unbehandelten Material

verändert. Er wird größer, je näher die hauptsächlichsten Porengrößen des Materials der Größenordnung der Längen der Polymerketten liegen, denn die Poren dieser Porengrößenklassen können durch das Hydrophobiermittel vollständig verstopft werden.¹⁶ Die Porengrößen der meisten uns interessierenden Baumaterialien liegen zu einem mehr oder weniger großen Teil in diesem Bereich.¹⁷

Wenn die Materialoberfläche Risse aufweist, durch welche das Wasser, allein getrieben durch die Schwerkraft, eindringen kann, so kann hierdurch die Hydrophobierung von Wasser hinterlaufen werden.¹⁸ Bei solchen Stellen kann dann das Wasser trotz der Hydrophobierung eindringen, sich in der Tiefe verteilen, von wo es danach aber nur sehr langsam verdunsten kann.¹⁹

Auch rissfreie, hydrophobierte Oberflächen nehmen mit der Zeit Feuchtigkeit auf, wenn sie lange nass bleiben.²⁰ Situationen wo die Materialien lange feucht bleiben, dürften sich zum Beispiel im Zusammenhang mit auf Gesimsen schmelzendem Schnee ergeben. Hier muss also damit gerechnet werden, dass die Bauteile trotz der Hydrophobierung manchmal relativ stark durchfeuchtet werden, wegen der durch die Hydrophobierung verzögerten Austrocknung lange feucht bleiben und entsprechende Folgeschäden entstehen können.

Hydrophobiermittel werden als Flüssigkeiten, Cremes oder Pasten aufgetragen. Das Eindringen des Hydrophobiermittels in das Porengefüge des Materials unterliegt dabei den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie das Eindringen anderer Flüssigkeiten. Materialien welche schnell viel Wasser aufsaugen werden also auch das Hydrophobiermittel entsprechend aufsaugen. Die Eindringtiefe des Hydrophobiermittels ist je nach Applikationsmethode und Material verschieden. Sie kann nach der Behandlung durch Wassersaugversuche an Bohrkernen (Abb. 5) oder an Bruchflächen überprüft werden. Wir beobachten meistens Eindringtiefen von einigen Millimetern bis etwa einem Zentimeter.

Die Auswirkungen der Behandlung hängen von den Eigenschaften des behandelten Materials, den verwendeten Produkten, den Applikationstechniken sowie den während der Applikation herrschenden Umweltbedingungen ab.²¹

¹⁴ Andere Darstellungen des Hydrophobiermittels im Porenraum finden sich in CARMELIET, *Moisture Phenomena* (Anm. 12), S. 168, 169 und 179.

¹⁵ Solche Bauteile sind zum Beispiel erdberührte Stützmauern aber unter Umständen auch die Außenmauern von Feuchträumen.

¹⁶ Nach CARMELIET, *Moisture Phenomena* (Anm. 12), S. 179, können Poren bis ca. 0,1 µm Porendurchmesser durch das Hydrophobiermittel verstopft werden.

¹⁷ Angaben zur Porosität zahlreicher Naturbausteine finden sich in Wolf-Dieter GRIMM, *Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland* (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 50), München 1990; zu Kalkmörteln zeigen die Quecksilber-Porosimetrie-Kurven der Arbeit von Alison SAWDY, *The Kinetics of Salt Weathering of Porous Materials: Stone Monuments and Wall Paintings.*, PhD thesis, Institut of Archaeology, University College, London 2001, S. 304, dass bei einer Mörtelzusammensetzung von 1 Teil Sumpfkalk auf 3 Teile Sand weniger als 5% der Porosität durch Poreneingangsradien erschlossen werden, die kleiner als 0,05 µm sind. Karl Georg BÖTTGER, *Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze, Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze*, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, Berlin 1997, S. 212, untersuchte historische Kalkputze, deren Porositäten zu ca. 3–4 Vol.% Poreneingangsradien von kleiner als 0,1 µm aufwiesen.

¹⁸ Dieses Hinterlaufen scheint bereits ab Haarrissen von 0,3mm möglich zu sein (CHAROLA, *Water Repellents* (Anm. 3), S. 11).

¹⁹ Ob ein Riss in einer hydrophoben Materialoberfläche Wasser eindringen lässt oder nicht, kann einfach durch das Aufbringen eines Wassertropfens geprüft werden (vgl. Abb. 4). Wenn bereits ein kleiner Tropfen rasch in den Riss eingesaugt wird, so kann davon ausgegangen werden, dass auch auftreffendes Regenwasser schnell eingesaugt würde.

²⁰ CARMELIET, *Moisture phenomena* (Anm. 12), S. 182.

²¹ CHAROLA, *Water Repellents* (Anm. 3), S. 8 und 9.



Abb. 6. Nördliche Seitenkapelle einer Kirche, Westfassade: dunkle Verfärbungen im oberen Teil, die zunächst fälschlich als Abwaschung der Tünche interpretiert wurden (20.3.2001).



Abb. 7. Materialprobe eines Fassadenputzes mit Mikroorganismen im Dünnschliff (vgl. Abb. 6; aufgenommen 3 Jahre nach Herstellung des Dünnschliffs, weshalb die Mikroorganismen, ursprünglich kugelige, olivgrün-bräunliche Gebilde, nur noch als eingetrocknete Krümel sichtbar sind; V = Verputz; T1 bis T4 = Kalktüncheschichten, darüber Einbettungsharz mit Schleifstaub; M = Mikroorganismen; Aufnahme in einfach polarisiertem Licht, Bildbreite 0,6 mm).



Abb. 8a. Nordfassade eines Kirchturms (s. Abb. 8b), Ausschnitt: Verschwärzungen nur an leicht nach oben geneigten Stellen des unebenen Fassadenputzes; fehlender Bewuchs im Regenschatten des kleinen Fensterblechs (20.3.2003).

Die gängigen Hydrophobiermittel bauen sich unter dem Einfluss von UV-Licht ab.²² Damit verliert das Material oberflächlich, das heißt in der Regel in den äußersten Zehntelmillimetern, seine Wasser abweisende Wirkung (Abb. 5b). Darunter bleibt die Wasser abweisende Eigenschaft jedoch bestehen (Abb. 5a), denn die UV-Strahlung kann nur wenig tief ins Innere des Materials eindringen.

Wenn also berichtet wird, die Hydrophobierung sei auch nach Jahrzehnten noch intakt, so muss wohl in vielen Fällen davon ausgegangen werden, dass die Hydrophobierung unter einer äußerst dünnen, nicht mehr hydrophoben Oberflächenschicht noch wirkt.²³

Unserer Beobachtung nach scheint sich auf sehr vielen Wasser abstoßenden Materialoberflächen mit der Zeit eine hydrophile äußerste Oberflächenschicht zu bilden, also zum Beispiel auch auf Dispersionsfarben oder hydrophob eingestellten Verputzen. Diese nicht hydrophobe, also hydrophile, äußerste Oberflächenschicht dürfte für jede Materialart ein wenig anders entstehen.²⁴ Die Auswirkungen der hydrophilen Oberflächenschicht, welche auf einem hydrophoben Untergrund liegt, schienen aber, unabhängig von der Art ihrer Entstehung, die gleichen oder doch sehr ähnlich zu sein, sie werden nachfolgend anhand von Beispielen ausführlich geschildert.

Fallbeispiele gealterter hydrophober Materialoberflächen

Beispiel 1: Hydrophobierter, hydraulischer Putz mit mehrlagiger Kalktünche

Der Fassadenanstrich einer Kirche erschien insbesondere an der stark beregneten Westfassade grau (Abb. 6). Die Vergrauung wurde von weitem und ohne weitere Untersuchung von Architekt und Bauherrschaft so interpretiert, dass angenommen wurde, die Tünche sei nicht wetterbeständig, deshalb abgewaschen worden und nun schimmere darunter die graue Verputzeigenfarbe durch. Die Lebensdauer des Anstrichs von nur etwa 20 Jahren bis zum Beobachtungszeitpunkt, erschien der Bauherrschaft als zu gering. An uns wurde deshalb die Frage gestellt, mit welchem, dauerhafteren Farbsystem der Anstrich erneuert werden solle. Anhand der Untersuchung einer Mate-

rialprobe sollte abgeklärt werden, um welche Art von Putz- und Anstrichmaterial es sich handle und ob dieser Untergrund auch für eine Kalkfarbe geeignet wäre.

Aus den vorhandenen Akten zu den Verputzen der Kirche ging hervor, dass der Verputz bei der Sanierung von 1979 kom-



Abb. 8b. Nord- (links) und Westfassade eines Kirchturms, welcher knapp 5 Jahre zuvor mit „veredelter Kalkfarbe“ gestrichen worden war; Dunkle Verfärbungen durch biologischen Befall (20.3.2003; gerahmter Ausschnitt s. Abb. 8a).



Abb. 9a-b. Westfassade eines zuletzt 1986 renovierten Kirchturms: Dunkle Verfärbung der hellen Tünche in den beregneten Bereichen (b), während im Regenschatten oder bei Kupferanteilen im Ablaufwasser der Bewuchs verhindert wird (a: Pfeil; Sommer 2004).



Abb. 10. Versuch mit einem Wassertropfen auf einer Verputzprobe: die äußerste, einige mm starke Putzlage ist hydrophob (der Tropfen bleibt stehen: Pfeil D), sowohl auf der darunter liegenden Putzschicht als auch in der dunklen Oberfläche dagegen rasche Wasseraufnahme (feuchte Stelle bei Pfeil A).

plett entfernt, sämtliche Fassaden neu mit einem, mit hydraulischen Kalk verschnittenen Kalkmörtel verputzt und viermal mit Kalk nass in nass getüncht worden waren. Diese Informationen aus den Akten wurden durch unsere Untersuchungen an einem Dünnschliff einer Probe des Verputzes (Abb. 7) bestätigt.

²² M. BRUGNARA, E. DEGASPERI, C. DELLA VOLPE, D. MANIGLIO, A. PENATI, S. SIBONI, L. TONIOLO, T. POLI, S. INVERNIZZI und V. CASTELVETRO, The Application of the Contact Angle in Monument Protection, *New Materials and Methods, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Bd. 241, Issues 1–3, 2004, S. 299–312. Im Internet unter: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09277757>.

²³ Gleiche Beobachtungen bei Eberhard WENDLER, Renate RÜCKERT-THÜMLING, Dietrich KLEMM und Rolf SNETHLAGE, Zur Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungsmaßnahmen auf Naturstein, Vergleichende Fallbeispiele am Kölner Dom und am Ulmer Münster, in: *Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinerfall-Steinkonservierung*, Bd. 4, 1992, Berlin 1994, S. 197–204, hier: S. 199; sowie Michael AURAS, Heiner SIEDEL, und Helmut WEBER, Reinigung und Steinkonservierung, in: *Natursteinwerk und Umweltschutz in der Denkmalpflege*, hg. vom Berufsbildungswerk des Steinmetz- und Bildhauerhandwerks e.V. Wiesbaden, Ulm 1997, S. 684–716, hier: S. 714.

²⁴ Bei Dispersionsfarben beobachten wir in solchen Fällen oft ein feinschichtiges System von feinen Rissen, welche Wasser aufnehmen und speichern können.

²⁵ In den Akten der Denkmalpflege findet sich lediglich ein auf den 17.7.1981 datiertes externes Fachgutachten, welches das Hydrophobieren der Fassaden empfiehlt. Einem Brief vom 22.8.1981 der Kirchengemeinschaft an den Architekten kann entnommen werden, dass „... die zusätzliche Hydrophobierung und andere, kleinere Verbesserungsarbeiten zu Lasten der Kirchengemeinde gehen.“ In der Zusammenstellung der Unterhalts-, Ergänzungs- und Garantearbeiten des Architekten vom 21.8.1984 adressiert an die Kirchengemeinschaft steht: „9. Putzhydrophobierung: Nachdem die Putzstellen geflickt und gekalkt sind, muss der gesamte Fassadenteil zwischen den Stockgurten nochmals hydrophobiert werden.“

²⁶ Daraus, dass die schwarzen Verfärbungen nur an Stellen auftraten, welche bei Regenwetter regelmäßig nass wurden, konnte geschlossen werden, dass es sich dabei um einen biologischen Befall handeln musste. Dunkle Verfärbungen durch Schmutzablagerungen würden sich vor allem in vor Regen geschützten Bereichen finden, wohingegen Bewuchs zwingend regelmäßige Bewässerung braucht und deshalb im Regenschatten in der Regel nicht wachsen kann. Theoretisch kann auch das Abwaschen der weißen Farbschicht von der Oberfläche zu schwarzen Flecken führen, solche Flecken sehen aber anders aus.

In der Probe konnte beobachtet werden, dass der Putz hydraulische Anteile enthielt und auf der Oberfläche vier weiße, reine Kalktünchen ohne organische Zusätze aufwies. Erstaunlich war aber, dass die äußerste und stellenweise auch die zweitäußerste Tüncheschicht stark von dunklen Mikroorganismen besiedelt waren.

Durch das Aufbringen von Wassertropfen auf die frischen Bruchflächen einer Verputzprobe ließ sich leicht feststellen, dass der Putz, mit Ausnahme der äußersten Tünchelage, bis in eine Tiefe von ca. 1cm hydrophob war. Tiefer als etwa 1 cm liegende Schichten des Putzes sowie eine etwa 0,1 mm dünne Schicht der Tünchenoberfläche saugten Wasser dagegen gut auf.

Das Aktenstudium ergab, dass die Hydrophobierung der Fassaden wahrscheinlich wenige Jahre nach der Sanierung von 1979 erfolgt war. Sie kommt in den Akten einzig als empfehlendes Fachgutachten vor und wurde ohne das Wissen der Denkmalpflege ausgeführt und daher weder mitfinanziert noch begleitet und auch nicht dokumentiert.²⁵ Da auch die Bauherrschaft keine Unterlagen mehr besitzt, liegen keine zur weiteren Beurteilung der Maßnahme dienlichen Unterlagen vor. Weder Zeitpunkt und Umfang der Maßnahme, noch die Art des verwendeten Hydrophobiermittels ließen sich herausfinden.

Bei der Sanierung 2002 wurde dann beschlossen, die Fassaden zu reinigen, mit einem Biozid zu behandeln, einzelne Putzstellen zu flicken und darüber mit Organosilikatfarbe zu streichen. Ein erneuter sichtbarer Befall mit Mikroorganismen ist damit in einigen Jahren wieder zu erwarten. Eine Rückkehr zu einem nicht hydrophoben System wäre hier nur durch das vollständige Entfernen sämtlicher hydrophoben Schichten möglich gewesen, wofür der Bauherrschaft der finanzielle Aufwand zu groß erschien.

Beispiel 2: „Veredelte Kalkfarbe“

Ein Kirchturm wurde 1997 mit einer „veredelten Kalkfarbe“ gestrichen. Noch innerhalb der Garantiefrist von 5 Jahren zeigten manche Fassadenflächen intensive schwarze Verfärbungen durch biologischen Befall (Abb. 8a-b).²⁶ Der Bewuchs ist dort am stärksten, wo die Fassade am stärksten und häufigsten benetzt wird. So ist in Abb. 8b zum Beispiel unter den kleinen Dach-

vorspringen in den Turmecken zuoberst kein Bewuchs zu erkennen, was hier so interpretiert wird, dass dort, im Regenschatten, das Wasserangebot für die Mikroorganismen zu gering ist.

Der Test mit einem Tröpfchen zeigte, dass Wasser auf dem Anstrich abperlte (vgl. Abb. 4), der Farbanstrich war also eindeutig hydrophob. Der Untergrund unmittelbar unter dem Anstrich erwies sich dagegen als deutlich weniger hydrophob. Im vorliegenden Fall genügt damit eine sehr dünne hydrophobe Oberflächenschicht, um an berechneten Stellen bereits nach weniger als fünf Jahren einen dunklen Bewuchs zu fördern.

Unseres Wissens wurden die vom Bewuchs betroffenen Fassaden vom Bewuchs gereinigt, mit Bioziden behandelt und mit einem ähnlichen, wiederum hydrophoben Farbsystem neu gestrichen. Diese Lösung wurde aus ökonomischen Überlegungen gewählt.

Beispiel 3: Hydrophob eingestellter Verputz

Das eindrucklichste mir bekannte Beispiel einer Auswirkung der Verwendung von hydrophoben Materialien an Wetterfassaden verdanke ich Herrn Restaurator Hans-Jörg Gerber. Die betroffene Kirche (Abb. 9b) war 1986 renoviert worden. 16 Jahre später wies sie an stark beregneten Stellen, einen äußerst kräftigen, dunklen Bewuchs auf. Ein deutliches Indiz dafür, dass die Verdunkelung durch Mikroorganismenbefall verursacht wird, liegt hier unter anderem in der Tatsache, dass sie im Bereich des Abflusswassers vom Blitzableiter aus Kupfer fehlt (links in Abb. 9a).²⁷ Bereits der leichte Regenschatten, verursacht durch das etwas vorstehende Dach oder durch den Gurt



am Turm, reduzierten die Intensität des Bewuchses beträchtlich und da, wo die Turmwestfassade durch das Dach des Schiffes vor Regen geschützt war, fehlte der Bewuchs durch Mikroorganismen vollständig. Der Bewuchs bestand hier aus einer dunklen, rötlichbraunen bis schwarzen, weichen Schicht, welche nur locker auf der Putzoberfläche lag und an ihrer Unterseite stellenweise leuchtend grün war.

Der Verputz von 1986 bestand aus einem grauen Grundputz einem leicht rosafarbenen Ausgleichsputz sowie aus einem weißen Deckputz (Abb. 10). Die äußeren beiden Putzschichten waren nur einige Millimeter dick. Der Restaurator bespritzte die Fassade mit Wasser und es zeigte sich, dass sich die Oberfläche gut benetzen ließ. Dies führte zuerst zur fälschlichen Annahme, dass keine wasserabstoßenden Materialien vorhanden seien. Wurde aber an einer Probe des Verputzes ein Wassertropfen vorsichtig auf die frische Bruchfläche der Deckputzschicht gelegt, so blieb dieser dort stehen, ohne aufgesogen zu werden (Abb. 10). Die darunter liegenden Schichten des Ausgleichs- und Grundputzes sowie die dunkle Schicht des biologischen Bewuchses saugten Wasser dagegen sehr schnell auf.

Bei diesem Putzaufbau war demnach einzig die dünne Deckputzschicht hydrophob. In einem solchen Fall könnte das Problem am einfachsten durch den vollständigen Ersatz dieses Deckputzes mit nicht hydrophobem Material gelöst und für die Zukunft vermieden werden.

Beispiel 4: Hydrophobierte Berner Sandsteine

Der südwestliche Pavillon auf der Münsterplattform in der Stadt Bern wurde, im Zug der notwendigen statischen Sanierung der Münsterplattformstützmauer, 1987 restauriert. Dabei wurden die Steine am Fuß des Pavillons weitgehend ersetzt, gefestigt²⁸ und hydrophobiert²⁹. Die Fassadenflächen wurden

²⁷ Das vom Stift des Blitzableiters abfließende Wasser enthält geringe Mengen Kupfer, welches für den Bewuchs giftig ist und ihn verhindert. Die Oberfläche ist in der bewuchsfreien Zone durch die Kupferablagerungen leicht bläulich-grünlich verfärbt.

²⁸ Mit dem Kieselsäureethylester Wacker OH. Dazu: Aktennotiz zur Bausitzung Sanierung Münsterplattform vom 15.10.1987: „...Festiger OH, Fa. Wacker. Ausführung in 3–4 Einzeltränkungen nass in nass mit einer Wartezeit von 30–40 Minuten zwischen den Tränkungen. Nach der letzten Tränkung wird die Oberfläche mit reinem Lösungsmittel (...) mittels absprühen leicht nachgewaschen.“; Aktennotiz zur Bausitzung Sanierung Münsterplattform vom 12.11.1987: „... Nach der erfolgten Festigung ist das Gerüst ohne Unterbruch während mindestens 2 Wochen zu beheizen...“

²⁹ Mit dem Siloxan Wacker 090, s. dazu: Aktennotiz zur Bausitzung Sanierung Münsterplattform vom 12.11.1987: „...Nach der Festigung und einer Wartezeit von 3 Wochen ... hydrophobiert...“ und weiter „Das Hydrophobieren erfolgt in zwei Einzeltränkungen nass in nass. Beim Hydrophobieren muss das Gerüst leicht temperiert sein.“; Aktennotiz zur Bausitzung Sanierung Münsterplattform vom 19.11.1987: „Als Hydrophobierungsmittel wird ... Wacker 090 S (gebrauchsfertige Lösung) verwendet. Zum Nachwaschen wird Isopropylalkohol verwendet.“

³⁰ Der Zeitpunkt für die Maßnahmen geht aus den in Anm. 28 und 29 zitierten Protokollstellen hervor.

³¹ Christine BLÄUER, Verwitterung der Berner Sandsteine, unpublizierte Dissertation, Universität Bern, 1987.

Abb. 11. Bern, Südwestecke der Münsterplattform, Pavillon (13.10.1994): 1987 gefestigte und hydrophobierte Fläche mit ersten Ansätzen einer Verdunkelung durch Bewuchs (Pfeil; vgl. Abb. 12).

dagegen lediglich gefestigt aber nicht hydrophobiert. Die Maßnahmen wurden offenbar im Winter 1987 ausgeführt.³⁰

Eine Fotografie des Pavillons vom Oktober 1994, also sieben Jahre nach den Maßnahmen, auf welcher die hydrophobierten Flächen leider nur zu einem kleinen Teil zu sehen sind (Abb. 11), zeigt erste Ansätze für eine Verdunkelung im berechneten Bereich. Siebzehn Jahre nach den Maßnahmen hat sich dann ein intensiver Bewuchs, sowohl an den schräg abfallenden als auch an den senkrechten Sandsteinflächen des Pavillonfußes ausgebildet (Abb. 12). Wo das auftreffende Wasser für den Bewuchs giftiges Kupfer aus darüber befindlichen Blechen enthält, fehlt der Bewuchs jedoch vollständig. An den Fassadenflächen des Pavillons oberhalb des Niveaus der Fensterbänke, die nur gefestigt worden waren, fehlt ein sichtbarer Bewuchs ebenfalls.

Solch intensiver Bewuchs ist auf älteren Objekten aus Berner Sandstein, insbesondere an senkrechten Flächen, kaum je zu beobachten.³¹ Berner Sandsteine sanden an ihrer Oberfläche ständig ein wenig ab, so dass der Bewuchs schlecht Fuß fassen kann, weil er kontinuierlich mit dem abfallenden Sand zusammen herunterfällt. Werden diese Steine aber vor dem Hydrophobieren gefestigt, so fällt der „Selbstreinigungseffekt“ durch das Absanden weg und der Bewuchs kann sich offenbar gut festsetzen.

Hypothesen zur Entstehung der Förderung von Bewuchs durch Hydrophobierungen oder hydrophobe Materialien³²

Den hier gezeigten Beispielen ist gemeinsam, dass die hydrophobe Wirkung, egal wie sie ursprünglich zustande kam, auch nach jahrelanger Standzeit noch wirksam ist. Allerdings scheint sich jeweils auf der Oberfläche eine nur äußerst dünne, nicht

mehr hydrophobe Schicht ausgebildet zu haben.³³ Bei der Anwendung von Hydrophobiermitteln auf Silan-Siloxanbasis an zuvor nicht hydrophoben Baumaterialien scheint dieses Phänomen allgemein bekannt zu sein.³⁴ Aufgrund der gezeigten Beispiele und weiterer, uns bekannter Fälle kann vermutet werden, dass solch dünne, nicht mehr Wasser abstoßende Oberflächenschichten mit der Zeit auch auf anderen hydrophoben Materialien entstehen. Manchmal schienen sie zum Beispiel dadurch zu entstehen, dass sich feine Rissnetze in den Oberflächen der Materialien bilden, in welche Wasser eindringen kann.³⁵

In dieser nicht hydrophoben Oberflächenschicht konnte sich jeweils ein biologischer Befall festsetzen³⁶, welcher in jedem Fall intensiver war als es an gleich exponierten unbehandelten Flächen zu erwarten wäre.

Für den Befall durch Mikroorganismen braucht es drei Dinge, nämlich Organismen/Keime, Nahrung und Wasser.³⁷ Organismen sind in unserem Zusammenhang überall genügend vorhanden.³⁸ Als Nahrung verwertbar sind fast alle organischen Materialien, und offenbar genügen bereits die organischen Bestandteile aus der Luftverschmutzung.³⁹ Damit scheint, wo kein Gift vorhanden ist, das Angebot an Wasser der entscheidende Faktor zu sein. Die Beobachtung von Bauten in unseren Breiten zeigt jedenfalls, dass biologischer Befall im Außenbereich überall dort auftritt, wo das Wasserangebot groß genug, die Materialoberflächen stabil und keine giftigen Substanzen vorhanden sind.

Aus der Tatsache, dass an Stellen mit abgebauter Oberflächenhydrophobierung über einer noch funktionierenden Hydropho-



³² Die hier geäußerten Vermutungen stützen sich auf Beobachtungen an den gezeigten Beispielen, aber auch an verschiedenen weiteren Objekten.

³³ Nachweise für die hydrophile Oberflächenschicht auf dem hydrophoben Untergrund sind für die hier erwähnten Beispiele in den Abbildungen 5b, 7 und 10 dargestellt.

³⁴ AURAS, Reinigung und Steinkonservierung (Anm. 23); CHAROLA, Water Repellents (Anm. 3); WENDLER, Dauerhaftigkeit (Anm. 23).

³⁵ Solche craqueléartig gerissenen Oberflächen, welche Wasser gut aufsaugen, haben wir zum Beispiel bei manchen Dispersionsfarbanstrichen beobachtet.

³⁶ Von intensivem biologischem Befall auf Flächen mit oberflächlich abgebauter Hydrophobierung wird ebenfalls durch AURAS, Reinigung und Steinkonservierung (Anm. 23), S. 714, sowie WENDLER, Zur Dauerhaftigkeit (Anm. 23), S. 203, berichtet.

³⁷ Paul RASCHLE, Mikrobiologische Analytik am Beispiel der Klosterkirche Münstair, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jg. 18, 2004, Heft 2, S. 311–317; Katja STERFLINGER, Monument as Microbial Environment, in: European Commission, Protection and conservation of European cultural heritage. Research report No 14, 2001, S. 147–154; Thomas WARSCHIED und Joanna BRAAMS, Biodeterioration of Stone, a Review, International Biodeterioration & Biodegradation, 46, 2000, S. 343–368.

³⁸ STERFLINGER, Monument as Microbial Environment (Anm. 37), S. 147.

³⁹ STERFLINGER, Monument as Microbial Environment (Anm. 37); WARSCHIED, Biodeterioration (Anm. 37).

Abb. 12. Bern, Südwestecke der Münsterplattform, Pavillon (15.4.2004): 1987 gefestigte und hydrophobierte Fläche mit starkem Bewuchs, aber fehlendem Bewuchs dort, wo das auftreffende Wasser giftige Kupferanteile enthält, die sich als Grünspan niederschlagen.

bierung in der Tiefe ein viel intensiverer Bewuchs als bei un- behandelten Materialien entsteht, kann damit abgeleitet werden, dass das Wasserangebot an solchen Stellen für die Mikroorganismen viel besser ist als an nicht hydrophobierten Oberflächen.

Das für den Bewuchs optimale Wasserangebot entsteht vermutlich wie folgt:

Dem Regen ausgesetzte Fassadenflächen werden regelmäßig nass. Wenn Regenwasser auf ein poröses gut saugendes Material trifft, wird es in die Tiefe gesaugt (vgl. Abb. 2) und so im Material verteilt, dass dieses nur feucht, nicht aber nass ist. Wenn die gleiche Wassermenge aber auf eine äußerst dünne, saugende Schicht fällt, die über einem nicht saugenden Untergrund liegt, so wird diese Schicht zuerst bis zur Sättigung nass und danach läuft das Wasser oberflächlich ab.⁴⁰ Da bereits geringe Wassermengen genügen, um diese äußerst dünne Oberflächenschicht vollständig zu durchnässen, dürfte sie auch bei jedem Auftreten von Kondensationsbedingungen nass werden. Die Trocknung dauert in jedem Fall sehr viel länger als das Nasswerden. Ein Bewuchs mit Mikroorganismen dürfte das Trocknen noch zusätzlich verzögern. Damit werden Stellen mit oberflächlich abgebauter Hydrophobierung häufiger und stärker nass und stellen ein optimales Milieu für das Wachstum von Mikroorganismen dar.⁴¹

Den geschilderten Beispielen ist zudem gemeinsam, dass an hydrophoben Flächen nur dort ein intensiver biologischer Befall auftrat, wo sie regelmäßig von Regen benetzt werden. Anders gesagt, scheint der Befall nur an denjenigen Flächen aufzutreten, welche tatsächlich unter Umständen eine Hydrophobierung nötig haben könnten. Flächen welche lediglich ab und zu mit Kondensfeuchte beaufschlagt werden, scheinen dagegen viel weniger vom Dunkelwerden durch einen Befall betroffen zu sein, offenbar ist hier das Wasserangebot für die Mikroorganismen nicht groß genug.⁴²

Schlussfolgerungen

Die Entscheidung, für oder gegen eine Hydrophobierungsmaßnahme, setzt einerseits die Kenntnis der am gegebenen Ort herrschenden Bewitterungssituation und andererseits genaue Kenntnis der zu behandelnden Materialien bezüglich ihrer Fähigkeit Wasser aufzunehmen oder abzugeben voraus. Üblicherweise werden Fassaden durch mehrere unterschiedliche Materialien aufgebaut. So besteht eine Sandsteinfassade in der Stadt Bern aus mindestens zwei unterschiedlichen Materialien, nämlich dem Sandstein und dem Fugenmörtel. Meistens kommen aber weitaus mehr unterschiedliche Materialien innerhalb einer Fassade vor. So sind die Fensterbänke nicht selten in Kunststein ersetzt oder es gibt verputzte und gestrichene Fassadenflächen. Auch die Sandsteine sind, selbst wenn sie vom gleichen Typus sind, durch unterschiedliche Korngrößen in den einzelnen Schichten mehr oder weniger heterogen bezüglich der Aufnahme und Abgabe von Wasser.

Da Hydrophobiermittel nach den gleichen physikalischen Prinzipien in poröse Materialien eindringen wie andere Flüssigkeiten, werden sich Unterschiede in der Porosität der Materialien zwangsläufig in Unterschieden der Eindringtiefe und auch der Wirkung von solchen Mitteln auswirken. Hydrophobierende Maßnahmen müssten aber eigentlich auf jedes Material einzeln abgestimmt werden, was praktisch nur an Fassaden möglich scheint, welche aus nur einem einzigen Material bestehen.

Hydrophobierende Behandlungen von Materialoberflächen sind einzig an Flächen sinnvoll, welche durch die Bewitterung auch tatsächlich nass werden können und dadurch Schäden erfahren.⁴³ Dass dieser Regel, selbst bei gutem Willen, nicht gänzlich Folge geleistet werden kann⁴⁴, ist sicherlich kein geringes Problem bei der Entscheidung über hydrophobierende Maßnahmen an historischen Bauten. Es zeigt sich weiter, dass nicht nur die grundsätzliche Entscheidung für oder gegen eine Hydrophobierung ein schwierig zu lösender Punkt zu sein scheint, sondern ebenso die Begrenzung der Maßnahme. „Wo aufhören?“ ist, wie bei allen irreversiblen Konservierungsmaßnahmen, eine der wichtigsten Fragen.

Jedenfalls kann festgestellt werden, dass Wetterfassaden von vor Jahren hydrophobierten oder mit hydrophoben Materialien verputzten oder gestrichenen Bauten, dort durch biologischen Befall dunkel werden, wo sie am häufigsten nass werden.

Tiefenhydrophobierungen scheinen zwar eine große Dauerhaftigkeit zu beweisen, für die hier geschilderten Fälle ist aber gerade diese Dauerhaftigkeit zusammen mit dem ausschließlich oberflächlichen Abbau der hydrophoben Wirkung das Problem. Der Bewuchs ließe sich möglicherweise durch regelmäßiges Nachhydrophobieren verhindern, wobei sich die Frage stellt, wie oft eine Hydrophobierung wiederholt werden kann.⁴⁵ Weiter stellt sich hier die Frage, womit diese Nachbehandlung erfolgen könnte, denn unserer Erfahrung nach, sind die früheren Maßnahmen oftmals schlecht dokumentiert⁴⁶ und es kann

⁴⁰ Gedankenexperiment: unter der Annahme, dass die nicht hydrophobe Oberflächenschicht eine Dicke von 0,1 mm hat, beträgt das Volumen dieser Schicht auf 1 cm² berechnet 10 mm³, d.h. 10µl. Wenn diese Schicht zu 20–50% aus Poren besteht, genügt ein Tropfen (ca. 5µl) oder gar weniger, um die Schicht über die ganze Fläche von 1cm² vollständig mit Wasser zu sättigen. Bei nicht hydrophoben, saugenden Materialien kann sich das auftreffende Wasser über das x-fache des Volumens verteilen, das Material wird damit viel weniger nass.

⁴¹ WENDLER, Zur Dauerhaftigkeit (Anm. 23), S. 203, kommt zu den gleichen Schlüssen.

⁴² Unserer Beobachtung nach bilden manche Fassaden mit einer äußeren Wärmeisolationsschicht hier möglicherweise Ausnahmen und können auch ohne direkte Beregnung sichtbar besiedelt werden.

⁴³ Dass diesem an sich logischen Grundsatz nicht immer nachgelebt wurde, zeigt das Beispiel der Altstadt von Bern, wo besonders in den 1980er Jahren reihenweise Nordfassaden hydrophobiert worden sind. Diese Fassaden werden nie von einem Tropfen Regen berührt, da sie durch weit ausladende Dächer und wegen der Enge der Gassen vor Regen geschützt sind. Eine Tatsache, die auch daran hätte erkannt werden können, dass die Fassaden damals großflächig von schwarzen Gipskrusten aus trockener Deposition der Luftverschmutzung überzogen waren, ein untrügliches Zeichen für eine vor Regen geschützte Exposition.

⁴⁴ Zu denken ist hierbei an Wetterfassaden, welche teilweise durch Vordächer, Simse und ähnliches vor Regen geschützt werden und wo die hydrophobierende Maßnahme nicht im Regenschatten halt machen kann (Beispiele im Text).

⁴⁵ Die Möglichkeit, erneut zu hydrophobieren, wird sowohl von AURAS, Reinigung und Steinkonservierung (Anm. 23), S. 715, als auch von WENDLER, Zur Dauerhaftigkeit (Anm. 23), S. 204, genannt, beide erwähnen aber gleichzeitig, dass dieses Nachhydrophobieren ein äußerst heikles Unterfangen ist und nicht klar ist, wie oft eine Wiederholung möglich ist.

⁴⁶ Siehe Beispiel 1.

⁴⁷ WENDLER, Zur Dauerhaftigkeit (Anm. 23), S. 204.

⁴⁸ Zu denken ist hier nicht nur an die Arbeit und das Hydrophobiermittel, sondern auch an die nötigen Gerüstkosten oder andere Kosten für das Zugänglichmachen der Fassaden.

somit nicht einfach auf das gleiche Produkt zurückgegriffen werden. Damit wird aber eine Nachhydrophobierung zu einem schwierig zu lösenden Problem.⁴⁷

Nach unseren Beispielen müssten die Wiederholungen der hydrophobierenden Maßnahmen im Abstand von nur wenigen Jahren erfolgen. Dies ist sicherlich ein finanzielles Problem.⁴⁸ Zudem muss angenommen werden, dass meist gleichzeitig auch ein Biozid eingesetzt würde, um bereits sichtbaren oder vermuteten Befall zu entfernen, was ökologisch zumindest bedenklich erscheint.

In vielen Fällen stellt der beobachtete Bewuchs vor allem ein ästhetisches Problem dar. Wir stellen allerdings fest, dass Objekte deren Äußeres nicht befriedigt, schnell in Ungnade fallen und dass sich hier die Häufigkeit von Maßnahmen stark steigert. Alle nachfolgenden Maßnahmen müssen entweder so gewählt sein, dass sie auch auf hydrophoben Untergründen möglich sind, oder die Fassadenmaterialien müssen bis auf die nicht hydrophoben Schichten zurückgearbeitet werden. Im ersten Fall sind alle rein mineralischen Materialien wie Kalk oder reine Silikatfarben ausgeschlossen. Es müssen also erneut hydrophobe Materialien verwendet werden, was vermutlich ähnliche Folgen haben wird wie diejenigen, welche durch die Maßnahme beseitigt werden sollten. Der zweite Fall bedeutet den Totalverlust der Oberfläche, bis in die Tiefe der nicht mehr Wasser abstoßenden Schichten. Damit beschleunigt aber die Hydrophobierung in vielen Fällen den Zerfall über das Maß hinaus, welches die natürliche Verwitterung gehabt hätte. Hydrophobierungen sollten aber das Objekt erhalten helfen und dürften somit nur da angewendet werden, wo sie tatsächlich dazu führen, dass die Materialien weniger schnell verwittern, als sie dies ohne die Maßnahme tun würden. Andernfalls sind sie zu unterlassen.

Die Anwendung von hydrophoben Materialien oder hydrophobierende Maßnahmen müssen damit an historischen Bauten wohl überlegt werden, denn sie scheinen gerade dort unangenehme Nebenwirkungen zu zeigen, wo die Oberflächen tatsächlich dem Regen ausgesetzt sind. Wo sie nicht dem Regen ausgesetzt sind, zeigen sich offenbar keine entsprechenden Nebenwirkungen. Dort sind die Maßnahmen jedoch von vornherein unnötig und haben zusätzlich den Nachteil, die Materialpalette für zukünftige Maßnahmen einzuschränken.

Summary

Effects of Water-Repellent Treatments on the Conservation and Maintenance of Cultural Heritage. Observations of work practice

The major part of the built historic heritage in central Europe was constructed using inorganic, porous materials, which can take up and transport water in its liquid form by capillarity or in the form of water vapour by diffusion.

Most of the frequently observed forms of deterioration on buildings are correlated in one way or another to the ability of the materials to take up and transport water. Hence for conservation of these materials it was and is frequently considered advantageous to reduce their ability to take up water at places that are exposed to the weather. The methods used most often for such treatments seem to be those which only reduce the uptake of

liquid water, i.e. capillarity, but which do not render the material impermeable for water vapour. These so-called hydrophobic treatments prevent capillarity by making the pore surfaces water-repellent, which makes it impossible for water to wet the inner surfaces of the materials and therefore inhibits capillary transport. As this treatment does not fill the pores, water vapour diffusion through the treated material is still possible.

Depending on the product used for the treatment, the manner of application and the absorptive capacity of the treated material, the water-repellence will be effective at a greater or lesser depth within the material's surface. For Bernese Sandstone the water-repellent effect after treatment usually seems to form in a surface layer of between a half and one centimetre.

During our consultant work we have to deal more and more frequently with buildings which have been treated with water-repellents or where hydrophobic surface coatings were applied in the past and the facades that are exposed the most to rain have become extraordinarily dirty after only a few years; in other cases we deal with the problems which occur when traditional means and methods of repair should be used.

The most commonly used products for hydrophobic treatments lose their effect under the influence of UV light, sometimes only within a few years. In these cases a very thin layer is formed on the surface of the building material which can take up rain water or water from condensation on a cold surface very fast by capillarity. Under examination such a material performs at first sight as if it was never treated because applied water does not form drops which remain on the surface but rather is sucked up and renders the surface visibly moist.

However, as the reduction of the hydrophobic effect is limited to a very thin surface layer of a few tenths of a millimetre it is only this layer which takes up the water. The parts of the material underneath are still water-repellent and can only take up or transport water in the form of vapour, which is a very slow process that only moves water in small amounts. Therefore, in the non-hygroscopic surface layer the water content becomes very high whenever it is hit by rain or affected by water from condensation, and it can only dry out by evaporation of the water into the surrounding air, a comparatively slow process. In porous building materials that are not water-repellent rain or water from condensation will be more or less evenly distributed over a much larger depth, which generally prevents the water content from becoming very high anywhere in the material. The thin and very wet surface layer obviously represents an ideal biotope for micro-organisms, which makes the affected facades look dirty and which in turn leads to frequent treatments. As the water-repellent effect due to the lack of UV light is not measurably reduced at a greater depth in the material every further treatment has to take into consideration the former hydrophobic treatment, unless the water-repellent surface layer is to be replaced completely.

Therefore it can be stated that hydrophobic treatments have quite a large potential to have a negative effect on the conservation of monuments in the long run. Hence such treatments should only be considered if it can be convincingly shown that a reduced water uptake of the materials is necessary for the conservation of a particular monument.

Literaturverzeichnis

- Alois KIESLINGER, Zerstörungen an Steinbauten, Ihre Ursachen und ihre Abwehr, Leipzig, Wien 1932.
- R.J. SCHAFFER, The Weathering of Natural Building Stones, Facsimile of the 1932 edition, published by Construction Research communications Ltd, by permission of Building Research Establishment Ltd., London 1932.
- Francis DE QUERVAIN, Verhalten der Bausteine gegen Witterungseinflüsse in der Schweiz, Teil I, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, 23. Lieferung, Bern 1945.
- Seymour Z. LEWIN, The preservation of natural stone, 1838–1965, an annotated bibliography, Art and Archaeology Technical Abstracts, 6, 1966, S. 185–277.
- Christine BLÄUER, Verwitterung der Berner Sandsteine, unpublizierte Dissertation, Universität Bern, 1987.
- Wolf-Dieter GRIMM, Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 50), München 1990.
- Christian FISCHER, Importance des propriétés pétrophysiques et des interactions physico-chimiques dans l'hydrofugation des roches par des silicones, Dissertation, Université Louis Pasteur, Strassburg 1993.
- Eberhard WENDLER, Renate RÜCKERT-THÜMLING, Dietrich KLEMM und Rolf SNETHLAGE, Zur Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungsmaßnahmen auf Naturstein, Vergleichende Fallbeispiele am Kölner Dom und am Ulmer Münster, in: Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinerfall-Steinkonservierung, Bd. 4, 1992, Berlin 1994, S. 197–204.
- Steffen LAUE, Christine BLÄUER BÖHM und Daniel JEANNETTE, Salt weathering and porosity, examples from the crypt of St. Maria im Kapitol, Cologne, in: 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin 1996, S. 513–522.
- Michael AURAS, Heiner SIEDEL, und Helmut WEBER, Reinigung und Steinkonservierung, in: Natursteinwerk und Umweltschutz in der Denkmalpflege, hg. vom Berufsbildungswerk des Steinmetz- und Bildhauerhandwerks e.V., Wiesbaden, Ulm 1997, S. 684–716.
- Karl Georg BÖTTGER, Mörtel für die Erhaltung historischer Kalkputze, Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, Berlin 1997.
- Daniel JEANNETTE, Structures de porosité, mécanismes de transfert des solutions et principales altérations des roches des monuments, in: La pietra dei monumenti in ambiente fisico e culturale, Atti del 2° Corso Intensivo Europeo tenuto a Ravello e a Firenze dal 10 al 24 aprile 1994, Bari 1997, S. 49–77.
- Christoph HERM, Stephan PFEFFERKORN und Rolf SNETHLAGE, Historische Verfahren und Handelsmarken in der Steinkonservierung 1840–1940, in: Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung II, Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1998, S. 9–26.
- Thomas WARSCHIED und Joanna BRAAMS, Biodeterioration of Stone, a Review, International Biodeterioration & Biodegradation, 46, 2000, S. 343–368.
- Bénédicte ROUSSET TOURNIER, Transferts par capillarité et évaporation dans des roches - rôle des structures de porosité. Dissertation Université Louis Pasteur, Strassburg 2001, S. 94, 158 und 159.
- Alison SAWDY, The Kinetics of Salt Weathering of Porous Materials: Stone Monuments and Wall Paintings, PhD thesis, Institut of Archaeology, University College, London 2001.
- Katja STERFLINGER, Monument as Microbial Environment, in: European Commission, Protection and conservation of European cultural heritage. Research report No 14, 2001, S. 147–154.
- Jan CARMELIET, Geert HOUVENAGHEL, Jos van SCHIJNDEL und Staf ROELS, Moisture Phenomena in Hydrophobic Porous Building Material, Part 1: Measurements and Physical Interpretations, in: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, 8. Jahrgang, Heft 2/3, 2002, S. 165–183.
- Sharon CATHER, Assessing Causes and Mechanisms of Detrimental Change to Wall Paintings, in: Conserving the Painted Past: Developing Approaches to Wall Painting Conservation, Post-prints of a conference organised by English Heritage, London 2–4 December 1999, hg. von Robert GOWING und Adrian HERITAGE, London 2003, S. 64–74.
- A. Elena CHAROLA, Water Repellents and other "Protective" Treatments: a Critical Review, in: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, 9. Jahrgang, Heft 1, 2003, S. 3–22.
- Christine BLÄUER BÖHM, Ableiten von Konservierungsmaßnahmen aus dem Verwitterungsgeschehen, in: Tagungsbeiträge zu "Mauersalze und Architekturoberflächen", Hochschule für Bildende Künste Dresden, 1. – 3.2.2002, hg. von Heinz LEITNER, Steffen LAUE und Heiner SIEDEL, Dresden 2003, S. 84–89.
- M. BRUGNARA, E. DEGASPERI, C. DELLA VOLPE, D. MANIGLIO, A. PENATI, S. SIBONI, L. TONIOLO, T. POLI, S. INVERNIZZI und V. CASTELVETRO, The Application of the Contact Angle in Monument Protection, New Materials and Methods, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Bd. 241, Issues 1–3, 2004, S. 299–312.
- Paul RASCHLE, Mikrobiologische Analytik am Beispiel der Klosterkirche Müstair, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jg. 18, 2004, Heft 2, S. 311–317.

Abbildungsnachweis

Abb. 1–8, 10–12: Christine Bläuer Böhm, Expert-Center für Denkmalpflege, Zürich; Abb. 9: Hans-Jörg Gerber, Nidau.

Ursachen und Behandlungsmethoden von Feuchteschäden an historischen Bauwerken

Einführung

Etwa 80% der Bauschäden, die an Kulturdenkmalen auftreten, werden durch Feuchtigkeit hervorgerufen. Feuchtigkeit löst die Bindemittel aus den Baumaterialien (Mörteln, Natursteinen, Putzen etc.), so dass die Gefüge ihren Zusammenhalt verlieren. Feuchtigkeit kann durch Frost-Tau-Wechsel zur Zerstörung der Materialgefüge von Natursteinen und Putzen führen. Feuchtigkeit transportiert Salze in Baumaterialien hinein, die wiederum durch die Volumenvergrößerung bei ihrer Kristallisation oder Hydratation zu beträchtlichen Schäden im historischen Mauerwerk, in Putz und Malereien führen (Abb. 2). Es kommt zu Schalenbildung, zum Absanden (Abb. 1) und zur Ausbildung hygroskopischer Feuchtigkeitsflecken. Feuchtigkeit unterstützt das Wachstum von Pilzen wie z. B. Schwämmen oder Schimmelpilzen. Sporen von Schimmelpilzen können darüber hinaus zu Gesundheitsschäden führen. Das Wachstum von Moosen wird gefördert, die die Baumaterialien nachhaltig feucht halten (Abb. 3). Feuchtigkeit setzt schließlich die Wärmedämmfähigkeit der Baumaterialien wesentlich herab. Dies führt letztendlich zu beträchtlichen und unnötigen Energieverlusten.

Laut dem letzten großen Bauschadensbericht der Bundesregierung (1993) von 1996 entstanden pro Jahr *vermeidbare Bauschäden* in Höhe von über 3,5 Milliarden Euro.

Bis zum Jahr 2002 war, laut Berliner Bauministerium, das Schadensvolumen eher noch gestiegen. Ein aktueller Bauschadensbericht der Regierung wird mit Interesse erwartet.

Problematik und Schäden

Bei vielen dieser durch Feuchtigkeit verursachten Bauschäden handelt es sich um *vermeidbare Bauschäden*, deren Ursachen häufig im *mangelhaften Bauunterhalt* zu finden sind.

Die Folgen eines mangelhaften Bauunterhalts

Es gibt unzählige Fälle, in denen Dachanschlüsse defekt oder Dächer undicht sind und nicht umgehend repariert werden. Regenwasser dringt von oben ins Mauerwerk oder ins Gebäudeinnere ein und zerstört die historische Substanz nachhaltig (Abb. 4, 6, 7).

Regenrinnen und Fallrohre sind undicht oder werden durch herabfallendes Laub und Moos verstopft, so dass sie bei Regen das Bauwerk eher bewässern als entwässern (Abb. 9).

Fallrohre ohne Anschluss an die Kanalisation sind keine Seltenheit. Das Regenwasser wird direkt ins Erdreich geleitet, wo es den Baugrund unter Wasser setzt und zu Nachfolgeschäden führt (Abb. 10). Zu ähnlichen Problemen führen Fallrohre, deren falsche Anordnung zur Folge hat, dass sie das Regenwasser nicht auf dem dafür vorgesehenen Weg ableiten können (Abb. 14).

Dränagen sind nicht funktionsfähig, weil sie zugeschlammte oder zugewachsene sind, weil das Dränrohr kein Wasser aufnehmen kann (Abb. 11), nicht ordnungsgemäß verlegt wurde oder weil nicht für eine ausreichend dimensionierte Ableitung des Wassers aus der Dränage gesorgt wurde.

Alle diese Fälle führen nachweislich zu Problemen und dennoch duldet man diese Zustände zum Teil jahrelang. In der Folge kommt es zu Zuständen, bei denen die Gebäude regelrecht bewässert werden:

- von unten: Dies führt zu einer verstärkten Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit. Salze werden ins Mauerwerk transportiert, kristallisieren aus, historische Malereien und Putze werden durchnässt und durch Feuchtigkeit, Salze und organische Besiedelung zerstört;
- von oben: Hölzerne Bauteile, wie Dachkonstruktionen, Traufen, Fachwerk etc. verfaulen, Pilze nisten sich ein und zerstören das hölzerne Tragwerk, Schimmel tritt auf.

Die Behebung dieser unnötigen Schäden ist aufwendig und mit erheblichen Kosten verbunden und muss fallweise auch noch mit Hilfe von Zuschüssen des Landes finanziert werden. Eine regelmäßige Wartung oder Reinigung scheitert meist daran, dass „man sich das finanziell nicht erlauben kann“. Man scheut die vergleichsweise geringen regelmäßigen Kosten, die das Denkmal erhalten würden, gibt im Schadensfall jedoch große Geldsummen aus, um außerdem die dann zerstörte Substanz letztendlich zu erneuern.

Neben den oben genannten Situationen gibt es Fälle, bei denen im Zuge früherer Sanierungen Fehler gemacht wurden, die mehr oder weniger folgenschwere Auswirkungen haben:

- Fälle, in denen *Regenrinnen unterdimensioniert* sind, so dass sie das von den großen Dachflächen anfallende Wasser bei stärkeren Regenfällen nicht fassen können (Abb. 12).
- Fälle, in denen aufgrund äußerer Umstände das Außenniveau angehoben wurde (z. B. Verlegung einer Straße). Dadurch und durch eine zusätzliche, zeitweilige Hochwasserbelastung wurde das Gebäude einer extremen Feuchte- und Salzbelastung ausgesetzt. Salze und Feuchtigkeit waren letztendlich bis in etwa 4 m Höhe gewandert (Abb. 5, 16).

Zur Verbesserung dieser Situation wurde das Fundamentmauerwerk freigelegt. Dabei zeigte sich, dass das ursprüngliche Außenniveau 2 m unter dem heutigen Laufniveau lag und das „Fundamentmauerwerk“ ursprünglich der Sockel des Gebäudes war. Dieser aus Schilfsandstein gemauerte Sockel, der eine hohe kapillare Wasseraufnahme besitzt, war in direktem Kontakt mit dem feuchten Bodenmaterial gewesen. Das Mauerwerk wurde zum Trocknen über längere Zeit offen stehen gelassen; dann wurde eine Dränage in Verbindung mit einer reversiblen Vertikalabdichtung eingebaut und der Boden wieder angeschüttet. Das stark versalzene Mauerwerk wurde parallel dazu im Innen- und Außenbereich mit Kompressen (Buchenzellulose-



Abb. 1. Calw, evangelische Stadtkirche, Quadermauerwerk, Detail: Schalenbildung und Absanden der Oberflächen durch Kristallisation bauschädlicher Salze.



Abb. 4. Gaggstadt, evangelische Kirche, Chorwand und bemalte Holzdecke, Detail: nachhaltige Durchfeuchtung durch eindringendes Regenwasser aufgrund offener, undichter Glockenstube.

Kompressen) zur Salzreduktion behandelt. Bereits nach zwei Jahren war der Erfolg der Maßnahme deutlich zu erkennen.

Voruntersuchungen

Leider ist es immer noch gängige Praxis, *ohne Voruntersuchungen* und allein auf der Grundlage einer puren Inaugenscheinnahme, aufwendige und teure Maßnahmen (Mauersäge, Horizontalabdichtung durch Injektion etc.) vorzuschlagen und durchzuführen. Solche Maßnahmen sind häufig unnötig. Ein typisches Vorgehen ist, historische Putze radikal abzuschlagen und durch unpassendes Material zu ersetzen. Zu einer Substanzschonenden und erfolgreichen Instandsetzung gehört indessen eine logisch durchdachte Planung. Nachdem sichergestellt ist, dass die Ursachen für ein durchfeuchtetes Mauerwerk nicht im fehlenden Bauunterhalt liegen, muss die Notwendigkeit von Maßnahmen, aber auch ihre Verträglichkeit mit den Altsubstanzen unbedingt vor der Maßnahme durch entsprechende *Voruntersuchungen* nachgewiesen werden.

Eine wesentliche Rolle spielen dabei Voruntersuchungen durch Fachleute, wie Stein-, Wand-, Gemälde- und Holzrestauratoren, Bauphysiker, Bauchemiker, Statiker etc. In vielen Fällen ist festzustellen, dass aufwendige Maßnahmen nicht notwendig sind.

Sinn oder Unsinn einer Maßnahme, Erfolg einer Maßnahme, Verträglichkeit neuer Materialien mit den Altsubstanzen, Materialverbrauch etc. kann man besser einschätzen, wenn man die

entsprechenden *Fachleute vor der Maßnahme* einschaltet und sich durch sinnvolle *Voruntersuchungen* Informationen über die folgenden Punkte beschafft:

- Überprüfung des baulichen Zustands des Gebäudes (Regenrinnen, Fallrohre, Dränagen etc.),
- Nachweis oder Vermutung historischer Befunde: z.B. Wandmalereien, historische Putze oder Epitaphien (durch Wand- und Steinrestauratoren); bei Boden- und Erdarbeiten im Innen- und Außenbereich ist prinzipiell mit archäologischen Befunden zu rechnen (Einschaltung von Archäologen), etc.
- Information über Wandstärke und Aufbau eines Mauerwerks (einschalig / mehrschalig; mit / ohne Verfüllung des Hohlraums; durchgängige Lagerfuge vorhanden oder nicht),
- Art der vorhandenen Baumaterialien (Sandstein, Kalkstein, Ziegel; Zusammensetzung von Putz- und Fugenmörteln etc.),
- Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit der Baumaterialien; wichtig z. B. für die Beurteilung der Wirksamkeit von Injektions-, Hydrophobierungs- oder Festigungsagenzien,
- Durchfeuchtungsgrad (DFG_{ges} in %) des Mauerwerks (nicht nur Feuchtigkeitsgehalt!),
- hygroskopischer Durchfeuchtungsgrad (DFG_{hyg} in %) des Mauerwerks,
- röntgenographische Bestimmung und quantitative Analyse der im Mauerwerk vorhandenen Salze.



◁ Abb. 2. Stuttgart, Marmorsaal im Weißenburgpark, Detail: Schäden an der Malschicht durch die Kristallisation bauschädlicher Salze.

◁ Abb. 3. Heselach, Friedhof, Benckendorffkapelle, Detail: stark durchfeuchteter Sockel mit Moos- und Algenbewuchs.

▷ Abb. 5. Schwäbisch Gmünd, Katholische Kirche St. Leonhard, Chor: ausgeprägte Putzschäden und starke Verfärbungen durch hygroskopische Salzbelastung.

▷▷ Abb. 7. Iptingen, Huber'sches Mausoleum, Detail: Kalksinter-Fahnen an der Fassade infolge Dachundichtigkeit, da eindringendes Regenwasser das Calciumcarbonat aus dem Decken- und Wandputz gelöst und entlang der Putzrisse wieder ausgefällt hat.

▷▷ Abb. 8. Ellwangen, Basilika, Sandsteinrelief: irreversible Verunreinigungen durch Epoxidharz, das aus gekitteten Rissen ausgetreten ist.

In einigen Fällen können eventuell die Hersteller- oder Vertreiberfirmen von Bauprodukten für die Untersuchungen des Salz- und des Feuchtegehalts herangezogen werden, um die Untersuchung für den Auftraggeber preisgünstiger zu gestalten. Werden für die Maßnahme die Produkte der Vertreiberfirmen verwendet, ist diese Leistung meist völlig kostenfrei. Im Gegensatz zur Auftragsvergabe an einen neutralen Gutachter birgt dieser Service aber die Gefahr, geschäftliche Interessen vor den Schutz der Substanz zu stellen.

Mechanische Verfahren zur Horizontalabdichtung von Mauerwerk

Treten Feuchteschäden bzw. Salzschiäden an Gebäuden auf, werden in vielen Fällen sofort Abdichtungsmaßnahmen in Erwägung gezogen, die neben ihren positiven Auswirkungen häufig auch erhebliche negative Nebenwirkungen haben.

Problematik der Verfahren

Der Einsatz der mechanischen Horizontalabdichtungsverfahren, zu denen z.B. die verschiedenen Mauersägeverfahren und das Chromstahlblechverfahren gehören, stellt einen intensiven Eingriff in die historische Substanz dar. Ein Einsatz dieser Verfahren verbietet sich von vorneherein, wenn im Wandbereich der geplanten Sägemeasures historische Befunde vorliegen oder keine durchgängige Lagerfuge vorhanden ist. Die in der Praxis üblicherweise angewandte Methode, das Mauerwerk im Bereich des zukünftigen Sägeschnitts mit Zement zu verputzen, um zu verhindern, dass Mauerwerk beim Sägen ohne Lagerfuge herausgerissen wird, entspricht nicht der angemessenen Behandlung eines historischen Bauwerks!

Während des Einsatzes treten folgende Probleme auf:

- Beim Mauersägeverfahren wird der Sägeschnitt mit Wasser gekühlt (nur in speziellen Ausnahmefällen kann trocken gesägt werden). Dadurch kommt es zur zusätzlichen Durchfeuchtung des Mauerwerks und zur Mobilisierung von vorhandenen Salzen. Zudem können durch Ausspülungen hohe Substanzverluste im Mauerwerk auftreten.
- Vor allem beim Sägen ohne Wasserkühlung kann die Säge stecken bleiben, so dass Mauerstücke herausgerissen werden (Abb. 13).
- Vorsicht beim Seilsägeverfahren: Umlenkrollen nicht im Bereich der historischen Befunde befestigen!



Abb. 6. Königsberg, Wasserschloss, Südfassade, Ausschnitt: ausgeprägte Schäden an Außenputz und hölzerner Traufe aufgrund Undichtigkeit im Dach.

- Bei zweischaligen Wänden kann es zum Nachrutschen des Füllmaterials im Mauerwerkszwischenraum kommen, so dass neben statischen Problemen auch Schwierigkeiten beim Einbau der eigentlichen Abdichtungsschicht auftreten können.
- Beim Mauersäge- und beim Chromstahlblech-Verfahren kommt es zu Erschütterungen, die zu Standsicherheitsproblemen führen können, da es sich meist um Bruchsteinmauerwerk bzw. mehrschaliges Mauerwerk handelt.
- Beim Eintreiben der Edelstahlbleche in die Mauerwerksfuge kommt es beim Chromstahlblechverfahren zwangsläufig zur Beschädigung der Metalloberfläche. Die Bleche rosten im Laufe der Zeit, es kommt zu ihrer Zerstörung und zur Zerstörung der schützenden Fugenverpressung, zu Putzabsprengungen, zu Rostfahnen am Mauerwerk und zum erneuten Aufstieg von Feuchtigkeit (Abb. 15).
- Beim Chromstahlblechverfahren kommt es bei chloridbelastetem Mauerwerk zur Korrosion der Stahlabdichtung und schließlich zum erneuten Feuchtigkeitsaufstieg.
- Beim Chromstahlblechverfahren treten in den Eckbereichen der Mauerwerke Probleme (Überlappung) beim Einsetzen der Bleche auf.
- Beim Verpressen der Schnittfuge kann es
 - bei Verwendung von nicht sulfatbeständigem Verpressmaterial zur Bildung von Treibmineralen wie Ettringit, $\text{Ca}_6 [\text{Al} (\text{OH})_6]_2 (\text{SO}_4)_3 \times 26 \text{H}_2\text{O}$ und Thaumasil, $[\text{Ca}_3 \text{Si} (\text{OH})_6 \times 12 \text{H}_2\text{O}] (\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$ kommen, wenn im Mauerwerk Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) vorhanden ist,





Abb. 9. Lorch, ehem. Klosterkirche, nördliches Seitenschiff: fortwährende Durchfeuchtung der West-Wand durch Regenwasser aufgrund einer verstopften Regenrinne.

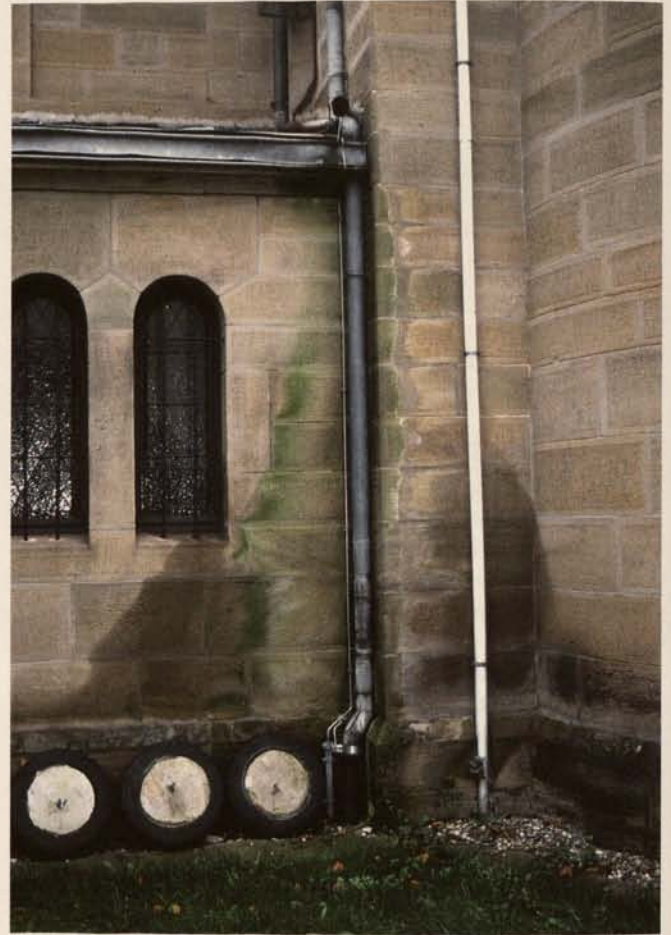


Abb. 10. Kupferzell, evangelische Kirche, Anschluss Sakristeidach: starke Durchfeuchtung des Natursteinmauerwerks infolge eines falsch angeordneten Fallrohrs.

- bei Verwendung von Verpressmaterial mit zu hohen Alkaligehalten zur Neubildung von Alkalisalzen kommen.

Folgen der mechanischen Abdichtung und wichtige Begleitmaßnahmen

Als gewünschter Effekt kommt es nach dem Einbau der horizontalen Abdichtung zu einer vollständigen Austrocknung der Wände. Da historische Mauerwerke und Objekte häufig mehr oder weniger salzbelastet sind, führt die Trocknung der Wände zur Kristallisation der Salze an den historischen Oberflächen (Malereien, Putzen, Wandoberflächen aus Naturstein, Epitaphien etc.) und in Fällen unterlassener Begleitmaßnahmen zu deren Zerstörung. Deshalb ist als Begleitmaßnahme in den Fällen, in denen eines dieser Verfahren trotz der genannten Risiken eingesetzt wird, die Entsalzung durch Kompressen (Buchenholz-Zellulose) oder eventuell auch durch Kompressenputze (keine Sanierputze) unbedingt zu empfehlen.

Bohrlochinjektionsverfahren zur nachträglichen Horizontalabdichtung von Mauerwerk

Horizontalabdichtungen werden auch über so genannte Bohrlochinjektionsverfahren durchgeführt. Zur Abdichtung werden

Flüssigsubstanzen drucklos¹ (Gießkannenverfahren) oder unter Druck ins Mauerwerk injiziert. Das Spektrum der verwendeten chemischen Substanzen ist sehr breit und basiert auf dementsprechend unterschiedlichen physikalisch-chemischen Wirkungsmechanismen, wie auf einer Verstopfung der Kapillaren, auf einer Verminderung des kapillaren Durchmessers oder einer Erhöhung der Oberflächenspannung in den Kapillaren zur Erzielung eines hydrophobierenden Effekts.

¹ Wacker-Chemie GmbH: Silicon-Microemulsionen für die Mauertrockenlegung, Technisches Merkblatt 4912.7, 1991; Dieter HETTMANN, Zur Beeinflussung des Feuchte- und Salzgehaltes in Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 16, 1993, S. 72–75.

² Detlef J. HONSINGER, Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 2, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 75–78; Detlef J. HONSINGER – Hans Rainer SASSE, Materialauswahl für feuchtereduzierende Maßnahmen am Mauerwerk: Stoffe und ihre Eignung, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung Teil 2, 1993, S. 1336–1354.

³ Z.B. Claus AHRENDT, Neue Erkenntnisse in der Mauertrockenlegung?, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1994, S. 69–74.

⁴ z.B. Andreas PROTZ und Peter FRIESE, Zur Verteilung von Silikonmikroemulsionen in porösen Baustoffen, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1995, S. 42–46.

⁵ Wilhelm WITTMANN – Otto DRÖGLER, Mauerfeuchtigkeit, Ursachen – Auswirkungen – Trockenlegung, Heidelberg 1967; Heinz-Josef HORSTSCHÄFER, Verkieselung, Erfahrungen mit Wasserglas – insbesondere im Baubereich, in: Das Baugewerbe 12, 1975, S. 14–15.

Wie sich jedoch in der Praxis herausgestellt hat, verteilen sich einige der eingesetzten Substanzen besser über die Fugen und Risse, als über die Gesteinsporen.

Neben den chemischen Reaktionsmechanismen spielen die physikalischen Rahmenbedingungen eine große Rolle. Bei der Druckinjektion werden gegenüber der drucklosen Injektion trotz gegenteiliger Aussagen höhere Porenfüllgrade, eine gleichmäßigere Verteilung der Injektionsstoffe an den Porenwänden und eine Steigerung der Eindringtiefe erzielt.²

Für den Erfolg spielt jedoch nicht nur der Druck, sondern auch die Dauer der Injektion in Abhängigkeit von der Wandstärke, der Grad der Versalzung des Mauerwerks und vor allem der Durchfeuchtungsgrad eines Mauerwerks eine entscheidende Rolle. Liegt der Durchfeuchtungsgrad über 50%, wird von einer Injektion abgeraten.³ Ferner spielen auch das Material und der chemische Reaktionsmechanismus eine wichtige Rolle. In der Theorie mögen die vorgesehenen chemischen Reaktionen zwar ablaufen, in der Praxis gibt es jedoch vielfältige Probleme, die immer wieder verleugnet werden.

Neben den Verfahren, die schon aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften nur bei höheren Temperaturen ins Mauerwerk eingebracht werden können, wird von verschiedenen Autoren⁴ und seit einiger Zeit auch von der Industrie zur Verbesserung des Erfolgs empfohlen, das Mauerwerk vor der Injektion mit Heizpackern, Bautrocknern oder Mikrowellengeräten bei Temperaturen von mehr als 100°C vorzutrocknen.

Dabei sind die Methoden mancher Firmen, die sich eigentlich den Denkmalschutz auf ihre Fahnen geschrieben haben, aber mit Mauertrocknungsverfahren werben, mit deren Hilfe sie den Durchfeuchtungsgrad eines 50 cm dicken Mauerwerks in nur 5 Stunden von 90 auf 50% absenken können, für Baudenkmale sicher nicht zu empfehlen.



Abb. 12. Karlsruhe, katholische Stadtpfarrkirche: Feuchte- und Salzbelastung des Sockelmauerwerks durch falsche Dimensionierung der Regenrinnen.

Art der Injektionssubstanzen

Zu den wasserverdünnbaren Systemen gehören (1):

- reine Alkalisilikate (Wassergläser)
- Alkalimethyl- und Propylsilikonate
- Gemische aus Alkaliwasserglas und Methylsilikonat.

Inzwischen sind auch siliziumorganische Verbindungen in Wasser emulgiert erhältlich (2) wie

- Silane, Siloxane oder Siloxan/Silikon-Gemische.



Abb. 11. Neudenu, Wallfahrtskirche: nicht sachgemäß angeschlossenes Fallrohr, das zur Durchfeuchtung der nördlichen Außenwand geführt hat.

Als Systeme auf Lösungsmittelbasis werden angeboten:

- Harzlösungen auf der Basis von Epoxid-, Polyurethan-, Acryl- und Polyesterharzen (3)
- Bitumenlösungen (4);

Paraffin wird in heißem Zustand als Abdichtungsmaterial eingesetzt (5).

Hinter allen diesen Materialien steht die grundlegende Vorstellung, dass sich die Abdichtungssubstanz gleichmäßig im Mauerwerk verteilt und eine durchgängige horizontale Sperrschicht bildet.

Wirkung und Nebenwirkung der verschiedenen Substanzen

Alkalisilikate, Alkalimethylsilikonate (1)

- Bei Verwendung von Alkalisilikaten kommt es nach Entwässerung des ausgeschiedenen Kieselgels zur Bildung von Sekundärkapillaren⁵ und dadurch erneut zu erhöhter Kapillaraktivität. Zur Verbesserung dieser Problematik wurden deshalb Gemische von Alkalisilikaten und Alkalimethylsilikonaten eingesetzt.
- Beide Verbindungen brauchen Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft zur Umsetzung und zur Ausbildung ihrer abdichtenden Wirkung. Dabei kommt es einerseits zur Bildung von Alkalicarbonaten (wie z.B. Kaliumcarbonat, K_2CO_3), die das Mauerwerk belasten. Zum anderen zeigen sich die Grenzen des Materials darin, dass die Eindringgeschwindigkeit des rein passiv eindiffundierenden Kohlendioxids extrem gering



Abb. 13. Bad Wimpfen, Kreuzigungsgruppe von Hans Backoffen, Sockel: Substanzverlust beim Sägen.



Abb. 15. Sulzgries, evangelische Kirche, Sockelmauerwerk: Rostfahnen infolge korrodierter Edelstahlplatten, die in Kontakt mit feuchtigkeits- und chloridbelastetem Mauerwerk waren.

ist. Bei großen Wandstärken kann man davon ausgehen, dass sich die Abdichtungssubstanz auch nach Jahren noch nicht vollständig umgesetzt hat und folglich die Abdichtung nicht so gut funktionieren kann wie angegeben. In der Realität zeigen sich diese Probleme dann auch noch viel krasser als theoretisch angenommen.

- Da die Eindringgeschwindigkeit des zur Umsetzung benötigten Kohlendioxids (CO_2) aus der Luft in den Mauerwerksquerschnitt sehr gering ist, werden beim Abdichtungsverfahren von einigen Firmen als Grenzwerte für die Mauerstärke ehrlicherweise 50 cm angenommen. Versuche haben jedoch gezeigt, dass das Kohlendioxid aus der Luft im Verlauf mehrerer Jahre nur wenige Zentimeter ins Mauerwerk eingedrungen ist.
- In vielen Fällen wird das Mauerwerk nach der Injektion verputzt, so dass der Kohlendioxid-Zutritt weiter erschwert

wird und das Kohlendioxid praktisch nicht mehr ins Mauerwerk eindringen kann.

Es erfordert allerdings besondere Untersuchungsbedingungen, um diesen Sachverhalt in der Praxis nachweisen zu können, da das nicht umgesetzte Abdichtungsmaterial im Mauerwerk mit dem Kohlendioxid aus der Luft reagiert, sobald man eine Materialprobe aus dem Mauerwerk entnimmt und diese mit der Luft in Kontakt kommt.

Silane, Siloxane oder Siloxan/Silikon-Gemische (2)

- Seit mehreren Jahren wird auf dem deutschen Markt als Mehrstufeninjektion die so genannte *Silikonmikroemulsion (SMK)* angeboten, die ein mit Silikontensiden modifiziertes Silan/Siloxan-Gemisch als Hauptinjektionsmittel enthält. Nach dem Bohren der Bohrlöcher erfolgt eine Vorinjektion mit einer mikroporösen Zementsuspension



⁶ Helmut WEBER, Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk, in: *Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*, Teil 2, 1993, hg. von F. H. WITTMANN (Kontakt und Studium, Bd. 420), S. 1296–1324.

⁷ Hans-Axel KABREDE, Abdichtung der Krypta Markuskirche – eine gelungene Sache oder ein Flop?, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 8, 1995, S. 14–15.

⁸ Thomas HOECK, Abdichten einer Unterführung durch Vergelungsinjektion, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 3, 1997, S. 32–37; Bert WITTEMANN, Acrylatgel – eine neue Möglichkeit für nachträgliche Bauwerksabdichtungen, in: *FAS-Schriftenreihe* 8, *Bautenschutzmittel*, 1997, S. 110–115.

⁹ FMFA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt B.-W.), Abteilung 3, Referat 32: Oedheim, St. Mauritius – Untersuchung einer nachträglich eingebauten Horizontalsperre mit Bitumeninjektage, Untersuchungsbericht vom 22.07.1996, 1996 a.

◁ Abb. 14. Nusplingen, Friedhofskirche, nicht funktionsfähige Drainage: allseitig geschlossenes Betonrohr mit nachträglich hineingepickten Löchern.

▷ Abb. 16. Schwäbisch Gmünd, katholische Kirche St. Leonhard, Außenansicht mit abgegrabener Aufschüttung (ca. 2m) und freigelegtem ehemaligem Sockel: grobkörniger Schilfsandstein mit hoher kapillarer Wasseraufnahme, die dunklen Zonen salz- und feuchtigkeitsbelastet.

▷▷ Abb. 18. Haslach, evangelische Kirche: Anlage einer Drainage mit reversibler Vertikalabdichtung.

sion. Dadurch werden Klüfte und Risse im Mauerwerk geschlossen. Kurze Zeit danach werden die Bohrlöcher mit einer speziellen Lanze erneut aufgestoßen, um die SMK zu injizieren. Durch die hochalkalische Zementsuspension findet eine sofortige Aktivierung der SMK statt. Dies führt zu einer schnellen Ausbildung der Hydrophobie im Bohrlochbereich, verhindert aber wahrscheinlich gleichzeitig ein gutes Penetrationsvermögen des Injektionsmaterials.



Abb. 17. Calw, evangelische Stadtkirche, Sockel: durch Bitumeninjektion verunreinigte Wandoberfläche.

Harzlösungen auf Basis von Epoxiden, Polyurethanen, Acrylaten und Polyesterern (3)

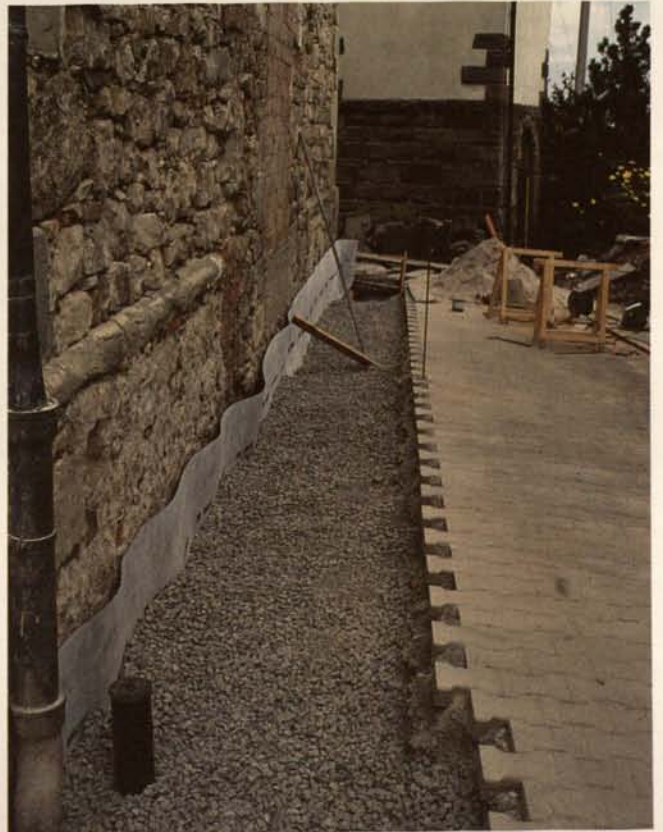
- Harzlösungen auf der Basis von *Epoxid-, Polyurethan-, Acryl- und Polyesterharzen* sind eine weitere Stoffgruppe, die zur Abdichtung verwendet wird. Ihr Wirkungsmechanismus beruht auf der Verstopfung von Kapillaren und Hohlräumen. Probleme entstehen bei der gleichmäßigen Verteilung der Harze im Mauerwerk.⁶ Epoxidharze können bei Sichtmauerwerk erfahrungsgemäß zu starken Verunreinigungen führen (Abb. 8), die nicht reversibel sind⁷.
- Polyurethane werden zum Verfüllen größerer Hohlräume in Mauerwerken verwendet. Da sie unter Volumenvergrößerung reagieren und durch den sich dabei aufbauenden Druck Risse im Mauerwerk entstehen können, ist Vorsicht geboten.
- Polyacrylatgele schrumpfen bei Trocknung, quellen jedoch bei Wasserzutritt wieder, so dass sie ihre Abdichtungseigenschaft behalten. Sie werden vor allem im Brücken- und Tunnelbau⁸ und in Form von Schleierinjektionen zur Baugrundinjektion eingesetzt.

werk zusätzlich über längere Zeit auf über 100°C erhitzt werden, da in kaltem Mauerwerk mit einer schnellen Porenverstopfung entlang des Bohrlochkanals zu rechnen ist.

- In Lösungsmitteln gelöstes *Bitumen* wird auf ca. 30°C erhitzt und dann im Hochdruckverfahren ins Mauerwerk injiziert. Hier hat sich gezeigt, dass es kaum in den Porenraum eines Gesteins eindringt.⁹ Aus diesem Grund ist man dazu übergegangen, die Bohrlöcher über mehrere Lagerfugen zu verteilen, so dass sich das Material über die Fugen verteilen kann. Das unter Druck injizierte Bitumen tritt an vielen Stellen aus der Wand aus und verunreinigt die Oberflächen irreversibel (Abb. 17). Es lässt sich nur durch mechanisches Abarbeiten entfernen, was eine vollständige Zerstörung der historischen Oberflächen bedeutet.

Bitumen (4) und Paraffin (5)

- *Bitumen und Paraffin* müssen erhitzt werden, um sie zu verflüssigen und können dann in das Mauerwerk injiziert werden. Bei Verwendung von Paraffin muss das Mauer-



- Vor Einsatz der *Paraffin*-Injektion soll das Mauerwerk über Heizpacker über viele Stunden auf 200 bis 250°C aufgeheizt¹⁰ und das erhitzte flüssige Paraffin ohne Druck (Gießkanne) in die Bohrlöcher eingefüllt werden. In der Praxis werden eher 150 bis 180°C erreicht. Jedoch liegen hierzu keine einheitlichen Aussagen vor. Dabei soll sich eine 20 cm starke durchgängige Paraffinschicht ausbilden.
- Allerdings haben Versuche an durchfeuchtetem Schilfsandstein (häufiges Baumaterial in Baden-Württemberg) gezeigt, dass die Vorheiztemperaturen im Mauerwerk nicht so hoch sein dürfen, wie von der Industrie angegeben, da es zu Rissen und je nach Zusammensetzung des Natursteins zu Zerstörungen des Mineralgefüges und zum nachfolgendem Zusammenbruch des Korngefüges kommen kann. Sehr enttäuschend war vor allem, dass es bei den Versuchen außerdem trotz längerer Aufheizzeiten (24 h) und längerer Paraffin-Tränkungszeiten als in der Praxis üblich, zudem nicht zur Bildung einer durchgehenden Sperre kam!
- Dies bestätigen auch Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung, bei denen die Injektion zu keinem Trocknungseffekt führte.¹¹
- Prinzipiell stellt sich die Frage, ob bei einem stark durchfeuchteten Mauerwerk großer Wanddicke innerhalb der praxisüblichen Aufheizzeiten genügend Feuchtigkeit verdampfen kann, so dass die Poren das Paraffin tatsächlich aufnehmen können. In diesem Zusammenhang darf nicht vergessen werden, dass Feuchtigkeit nachgesaugt wird, sobald die Heizstäbe entfernt werden und das Mauerwerk abkühlt. Auch dürften unterschiedliche Porengeometrien und Porengrößenverteilungen in den verschiedenen Baustoffen Auswirkungen auf Aufnahme und Verteilung des Paraffins haben.

Vertikalabdichtung

Feuchtigkeit, die aus dem angrenzenden Bodenmaterial ins Fundamentmauerwerk eindringt, hat einen großen Einfluss auf die Menge der kapillar im Mauerwerk aufsteigenden Feuchtigkeit. Wenn es gelingt, das Fundamentmauerwerk gegen seitlich eindringende Feuchtigkeit zu schützen, ist in vielen Fällen eine erhebliche Reduzierung des Durchfeuchtungsgrads des Mauerwerks zu erreichen. Eine häufig angewendete Methode zur Reduzierung der Feuchtigkeitsaufnahme ins Fundamentmauerwerk ist deshalb die nachträglich eingebaute außen liegende Vertikalabdichtung.

Um Fundamentmauerwerke vertikal abzudichten, werden im Denkmalsbereich bisher Zementmörtel, Trassmörtel, bitumenkautschukmodifizierte Dichtanstriche, kunststoffmodifizierte Dickbeschichtungen auf den Untergrund aufgetragen. Es werden verschiedene Arten von Dichtungsbahnen eingesetzt, die miteinander verschweißt oder kalt mit dem Untergrund verklebt werden. In praktisch allen Fällen muss vorher eine lockermaterialfreie, ebene Fläche als Auflagefläche geschaffen werden, da es sonst trotz rissüberbrückender Eigenschaften der Beschichtungen und Anstriche zu Rissen und einem erneuten Eindringen von Feuchtigkeit kommen kann.

Im Falle der Verwendung von portlandzementhaltigen Produkten ist eine chemische Kontrolle der Zementklinkerzusammensetzung erforderlich. Handelsüblicher Portlandzementklinker enthält vielfach erhebliche Gehalte an wasserlöslichen Na⁺ und K⁺ - Ionen. Die Bildung von Kalium- und

Natriumsulfatsalzen findet häufig durch Lösungsprozesse und chemische Reaktionen mit bereits vorhandenen Sulfatsalzen (wie z.B. Gips, CaSO₄ x 2H₂O) im Mauerwerk statt und kann zur verstärkten Salzkristallisation im und zu Salzausblühungen auf den Mauerwerksoberflächen führen.

Gleiches gilt für die Verwendung trasshaltiger Produkte. Da Trass je nach Herkunft sehr unterschiedliche Alkalikonzentrationen aufweisen kann, sind auch hier Informationen über die Höhe der Alkaligehalte zur Beurteilung der Verwendbarkeit notwendig.

Neben den irreversiblen Möglichkeiten Fundamente vertikal abzudichten, gibt es eine große Auswahl an reversiblen Dichtungsbahnen, die nicht auf den Untergrund aufgeklebt oder aufgetragen werden müssen. Die *Verwendung* dieser *reversiblen Dichtungsbahnen*, die einfach vor ein unebenes Mauerwerk vorgestellt werden können, *sind einer irreversiblen Abdichtung vorzuziehen*, da es sich bei den betroffenen Mauerwerken praktisch immer um historische Fundamentmauerwerke, teils unter Verwendung von Spolien, handelt. Die Dichtungsbahnen dürfen jedoch weder zu dick noch zu steif sein, da sie sich sonst nicht gut an den Untergrund anpassen lassen. Ein Beispiel für eine gut funktionierende reversible Lösung ist in Abb. 18 zu sehen.

Vertikale Fundamentabdichtungen sind oft nur in Verbindung mit einer Drainage sinnvoll, da je nach Lastfall die am Fundament anstehende Feuchtigkeit nicht abgeleitet werden kann. Drainagen sind eine gute Möglichkeit Hang- und Sickerwasser vom Fundament fernzuhalten. Sie sind rückstaufrei zu entwässern und sollten möglichst auf Höhe der Fundamentunterkante liegen. Letzteres ist bei historischen Mauerwerken nicht immer ohne weiteres möglich. Bei der Herstellung sollten die einschlägigen DIN-Vorschriften 4095, 4123, 4124 und 18195, soweit bei historischen Gebäuden möglich, beachtet werden. Vor der Ausführung ist in jedem Fall die Archäologie einzuschalten.

Ferner ist als historisches Verfahren die Verwendung von *Lehmpackungen* („Lehmschlag“) zur Vertikalabdichtung im Fundamentbereich bekannt. Dieses Verfahren wurde u.a. in einigen Fällen in Bayern und Baden-Württemberg angewendet. Wünschenswert wäre, diesen Ansatz weiter zu verfolgen und vor allem die Rahmenbedingungen genau zu dokumentieren. Durch die Kombination mit flankierenden Maßnahmen, die in der Regel gleichzeitig am Objekt durchgeführt werden, sind auch hier die Ergebnisse zu ungenau, um endgültige Aussagen treffen zu können. Als Fazit ließe sich festhalten, dass, wenn reversible mineralische Vertikalabdichtungen – auch in Kombination mit konservativen Maßnahmen (Wasserableitsysteme, Drä-

¹⁰ Jürgen DREYER, Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin, in: Bautenschutz und Bausanierung 6, 1991, S. 22–28.; Jürgen DREYER, Clemens HECHT, Instandsetzung und Erhaltung von Baustoffen und Bauteilen durch thermisch induzierte Porenfüllung mit Paraffin (GdCh-Monografie Bd. 11, Bauche-mie von der Forschung bis zur Praxis, Beiträge der 1. Tagung Bau-chemie, München 21./22. Nov. 1997), München 1998, S. 166–170.

¹¹ Dirk HOFFMANN – Helmut ROOSS: Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 81–83.

¹² Siehe auch Harald GARRECHT, Porenstrukturmodelle für den Feuchtehaushalt von Baustoffen mit und ohne Salzbe-frachtung und rechnerische Anwendung auf Mauerwerk (Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Heft 15), Karlsruhe 1992, S. 193–205.

nagen etc.) – zu einer Verbesserung der Bauphysik führen, sie allemal irreversiblen und massiven Eingriffen mit teils unabwägbareren Folgen vorzuziehen sind.

Begleitmaßnahmen

Als Begleitmaßnahme bei Abdichtungen oder als alleinige Maßnahme bei salzbelastetem Mauerwerk wird oft die Verwendung von *Sanierputzen* empfohlen. In der Praxis hat sich folgende Problematik gezeigt:

Ist ein Mauerwerk sehr stark durchfeuchtet oder ist damit zu rechnen, dass weiterhin kapillar aufsteigende Feuchtigkeit auftritt, genügt auch die hohe Diffusionsfähigkeit von Sanierputzen nicht, das Mauerwerk austrocknen zu lassen. Es kommt zum weiteren kapillaren Aufstieg der Feuchtigkeit im Mauerwerk hinter dem Sanierputz bis in größere Wandhöhen.¹²

In fast allen Fällen, in denen dieses Schadensphänomen bei Verwendung von Sanierputzen auftrat, wurde der historische Kalkputz, der meist nur im unteren Wandbereich durch aufsteigende Feuchtigkeit und Salze geschädigt war, bis in größere Höhen abgeschlagen, z. T. bis in 2 m Höhe, und statt dessen ein Sanierputz aufgetragen. Darüber blieb der alte Kalkputz erhalten. Nach einigen Jahren – Fälle zwischen 2 und 5 Jahren sind bekannt – zeigten sich Schäden in Form von feuchten Flecken und Salzausblühungen direkt über dem Sanierputz im historischen Kalkputz. Der Sanierputz blieb dabei optisch schadensfrei, aber die Schadenszone war noch weiter nach oben gewandert.

Problematisch ist dieser Sachverhalt vor allem deshalb, weil die kapillare Feuchtigkeit durch den Sanierputzauftrag nicht im unteren Bereich der Wand nach außen diffundieren kann, wie es bei einem Kalkputz möglich ist, sondern bis in größere Höhen aufsteigt. Oft sind dort noch historische Malereien vorhanden, die aufgrund der Wandhöhe in der sie sich befinden, bislang gut vor Beschädigungen jeder Art geschützt waren. Dadurch, dass man der Feuchtigkeit nun behilflich ist, größere Höhen zu erreichen, sind auch diese originalen Zeugnisse unserer Geschichte von der Zerstörung bedroht.

Ein solches Schadensbild kannte man bisher eher von Wänden, die mit dampfdiffusionsdichteren Putzen, wie Zementputzen versehen sind. Sie lassen aufgrund ihrer Eigenschaften die Feuchtigkeit nicht nach außen abtrocknen, sondern sperren sie im Mauerwerk ein. Dies führt dann dazu, dass die Feuchtigkeit im Mauerwerk hinter dem Putz so weit nach oben steigt, bis sie die Möglichkeit hat, nach außen durchzudringen. Die dabei kristallisierenden Salze schädigen die diffusionsoffeneren historischen Putze, die an den Wänden über den Neuputzen noch vorhanden sind.

Es gibt sicher Wandsituationen, in denen *Sanierputze* angezeigt sind. Im Fall eines Mauerwerks mit hohem Durchfeuchtungsgrad, das vor dem Putzauftrag nicht vollständig austrocknen kann bzw. in dem Fall, in dem damit zu rechnen ist oder nachgewiesen wurde, dass weiterhin erhebliche Mengen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit vorhanden sind, ist von der Verwendung von Sanierputzen abzuraten.

In jedem Fall sollte ein Mauerwerk mit hohem Durchfeuchtungsgrad, dessen Putz ohnehin entfernt wurde, über längere Zeit unverputzt stehen bleiben. Dadurch kann der Durchfeuchtungsgrad erheblich reduziert werden. Ferner wird dringend

geraten, zwischen Sanierputz und historischen Befunden eine so genannte *Schutzzone* in Form eines mindestens 50 cm breiten Kalkputzstreifens aufzutragen. In dieser Zone werden im Problemfall die Schäden auftreten. Sobald dies geschieht, muss der Putz abgenommen und erneuert werden (ggf. sind parallel Kompressenbehandlungen zur Salzreduktion angezeigt), denn nur dadurch kann die Gefahr eines weiteren Kapillaraufstiegs und des Auftretens weiterer Schäden über diese Zone hinaus verhindert werden.

Erfolgskontrolle

Bisher wurden selten Erfahrungswerte dokumentiert, die die Denkmalpflege in die Lage versetzen, Erfolg oder Misserfolg von Maßnahmen einschätzen zu können. Deshalb sollte eine Erfolgskontrolle eingeführt werden. Sie sollte sich dadurch auszeichnen, dass an denkmalgeschützten Objekten in regelmäßigen Zeitintervallen Überprüfungen durchgeführt werden. Dabei ließe sich einschätzen, wie erfolgreich eine Maßnahme ist. Es ließe sich beurteilen, ob sie auch in anderen Fällen angewendet werden kann. Im Idealfall könnte sie so Zeit und Geld sparend in anderen Fällen eingesetzt werden.

Dadurch würden sich zukünftige Fälle fachlich besser planen lassen, sämtliche Eingriffe würden sich minimieren lassen und die Kosten könnten begrenzt werden. Voraussetzung für eine Überprüfung von Maßnahmen ist aber auch eine Dokumentation, die es ermöglicht, sowohl den angetroffenen Zustand als auch die angewendeten Methoden und Verfahren nachvollziehen zu können.

Schlussfolgerung

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche und nachhaltige Denkmalpflege ist die regelmäßige Bauunterhaltung am Objekt. Dabei können Probleme frühzeitig erkannt und Schäden behoben werden, bevor große Maßnahmen notwendig werden, die finanziell ausufern und nicht zur Erhaltung des Denkmals, sondern de facto zu seiner Erneuerung führen.

Sofern doch umfangreichere Instandsetzungsmaßnahmen ausgeführt werden müssen, ist eine durchdachte Planung, die eine sinnvolle Vorgehensweise beinhaltet, ganz wesentlich für die Instandsetzung. Dabei wird folgende Reihenfolge dringend angeraten:

1. Schadensaufnahme und Dokumentation
2. Schadensanalyse
3. Ermitteln der möglichen Ursachen
4. Zunächst konservative Maßnahmen ausführen, d.h. den Unterhaltungsstau aufarbeiten (Dachrinnen, Fallrohre, Dränung, Dachhaut, Putze, Heizung, Lüftung etc. überprüfen und instandsetzen)
5. Angemessene Wartezeit über einen längeren Zeitraum einhalten. Prüfen, ob und in welchem Maß eine Besserung eintritt.
6. Weitere aufwendigere Sanierungsmaßnahmen durchführen.

In der Praxis wird alternativ zu der oben genannten Vorgehensweise leider häufig auf einen Teil der Schritte verzichtet und die Vorgehensweise folgendermaßen abgekürzt:

Man führt nur die Schritte 1, 4 und 6 durch. Dies führt dazu, dass die Sanierungsmassnahme enorme Kosten verursacht.

Natürlich bessert sich der Zustand des Objekts, jedoch lässt sich nicht nachweisen, ob die Besserung Punkt 6 „Weiteren Maßnahmen“ zu verdanken ist oder bereits nach Durchführung von Punkt 4 „Konservative Maßnahmen“ eingetreten wäre, denn eine Erfolgskontrolle ist für die Einzelgewerke bzw. Maßnahmen nun nicht mehr möglich.

Erst wenn sich nach allen Prüfungen ergibt, dass ein besserer Bauunterhalt bzw. konservative Maßnahmen nicht zum Erfolg führen werden, sollte man sich deshalb Gedanken über aufwendige Sanierungsmaßnahmen machen.

Insgesamt liegt nach vielen Jahren Erfahrung mit den im vorliegenden Artikel zitierten Verfahren in der praktischen Denkmalpflege der Schluss nahe, dass die meisten dieser Verfahren bereits im Erprobungsstadium in der Praxis eingesetzt wurden und heute z. T. immer noch eingesetzt werden. Selten wurden und werden neue Verfahren vor ihrem Einsatz unter praxisnahen Bedingungen getestet. Man hat meist keine Erfahrung damit, welche Auswirkungen sie kurz- und auch langfristig auf die verschiedenen Baumaterialien haben oder ob sie überhaupt funktionieren. Negative Nachweise werden häufig nicht weitergegeben, um kommerziellen Interessen nicht zu schaden. Sobald am Objekt offensichtlich wird, dass ein Verfahren nicht funktioniert, wird nachgebessert. Meist liegt dieser Zeitpunkt dann bereits außerhalb der Gewährleistungszeit. Eine Vereinheitlichung der Prüfverfahren ist dringend geboten. Die Wirksamkeit und Auswirkungen der an Denkmälern angewendeten Produkte und Verfahren, sollte unter standardisierten und reali-

tätsnahen Bedingungen nachgewiesen werden. Wirkung und Auswirkung eines Produkts müssen untersucht werden, bevor das Material an historischen Bauwerken eingesetzt wird und nicht danach.

Summary

Moisture Damage on Historic Buildings. Causes and Methods of Treatment

A number of cultural monuments which display acute moisture and salt damage are presented and the causes of the damages are discussed. The functional efficiency and the success of the methods employed to remedy these damages and keep the buildings sustainably damage-free are assessed.

Using practical examples the application and results of procedures to waterproof buildings horizontally and vertically against capillary rising damp are discussed and parallel measures such as water-repellent finishes and compress and renovation plasters are considered.

Urgent reference is made not only to the importance of searching for the causes of moisture by examining the existing condition of a building and conducting scientific preliminary investigations but also to the necessity of long-term maintenance in order to achieve a lasting remedy which is compatible with the monument and its historic materials.

Literaturverzeichnis

- Wilhelm WITTMANN – Otto DRÖGLER, Mauerfeuchtigkeit, Ursachen – Auswirkungen – Trockenlegung, Heidelberg 1967, 113 S.
Heinz-Josef HORTSCHÄFER, Verkieselung, Erfahrungen mit Wasserglas – insbesondere im Baubereich, in: Das Baugewerbe 12, 1975, S. 14–15.
Jürgen DREYER, Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin, in: Bautenschutz und Bausanierung 6, 1991, S. 22–28.
Wacker-Chemie GmbH: Silicon-Microemulsionen für die Mauertrockenlegung, Technisches Merkblatt 4912.7, 1991.
Harald GARRECHT, Porenstrukturmodelle für den Feuchtehaushalt von Baustoffen mit und ohne Salzbehaftung und rechnerische Anwendung auf Mauerwerk (Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Heft 15), Karlsruhe 1992, S. 193–205.
Dirk HOFFMANN – Helmut ROOSS: Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 81–83.
Detlef J. HONSINGER, Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 2, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 75–78.
Dieter HETTMANN, Zur Beeinflussung des Feuchte- und Salzgehaltes in Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 16, 1993, S. 72–75.
Detlef J. HONSINGER – Hans Rainer SASSE, Materialauswahl für feuchtereduzierende Maßnahmen am Mauerwerk: Stoffe und ihre Eignung, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung Teil 2, 1993, S. 1336–1354.
Helmut WEBER, Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Teil 2, 1993, hg. von F. H. WITTMANN (Kontakt und Studium, Bd. 420), S. 1296–1324.
Claus AHRENDT, Neue Erkenntnisse in der Mauertrockenlegung?, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1994, S. 69–74.

Hans-Axel KABREDE, Abdichtung der Krypta Markuskirche – eine gelungene Sache oder ein Flop?, in: Bautenschutz und Bausanierung 8, 1995, S. 14–15.

Andreas PROTZ und Peter FRIESE, Zur Verteilung von Silikonmikroemulsionen in porösen Baustoffen, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1995, S. 42–46.

FMPA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt B.-W.), Abteilung 3, Referat 32: Oedheim, St. Mauritius – Untersuchung einer nachträglich eingebauten Horizontalsperre mit Bitumeninjektage, Untersuchungsbericht vom 22.07.1996, 1996 a.

Thomas HOECK, Abdichten einer Unterführung durch Vergelungsinjektion, in: Bautenschutz und Bausanierung 3, 1997, S. 32–37.

Bert WITTEMANN, Acrylatgel – eine neue Möglichkeit für nachträgliche Bauwerksabdichtungen, in: FAS-Schriftenreihe 8, Bautenschutzmittel, 1997, S. 110–115.

Jürgen DREYER, Clemens HECHT, Instandsetzung und Erhaltung von Baustoffen und Bauteilen durch thermisch induzierte Porenfüllung mit Paraffin (GdCh-Monografie Bd. 11, Bauchemie von der Forschung bis zur Praxis, Beiträge der 1. Tagung Bauchemie, München 21./22. Nov. 1997), München 1998, S. 166–170.

Ulrike HENES-KLAIBER, Feuchteschäden und Methoden zu ihrer Beseitigung, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg, Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 1, 1998, S. 5–22.

Claus ARENDT, Jörg SEELE, Feuchte und Salze in Gebäuden – Ursachen, Sanierung, Vorbeugung, Leinfelden-Echterdingen 2001².

Abbildungsnachweis

Abb. 1–18: Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Esslingen, Archiv Restaurierung (Ulrike Henes-Klaiber).

Einhausung und Klimaregulierung als Mittel präventiver Konservierung von kunststoffbelasteter Wandmalerei.

Fallbeispiele in Sachsen-Anhalt

Ausgangssituation

Bei der Erhaltung des reichen kulturellen Erbes Sachsen-Anhalts seit dem 19. Jahrhundert stellt die romanische Wandmalerei und Stuckplastik eine Kernaufgabe der Denkmalpflege dar. Etwa fünf Freilegungswellen haben seither im Turnus von etwa dreißig Jahren diesen Bestand erschlossen. Bei näherer Betrachtung des dabei gepflegten konservatorisch/restauratorischen Umgangs fällt auf, dass bei der Mehrheit der seit den neunziger Jahren des 19. Jahrhunderts freigelegten Male-reien auf bildliche Ergänzungen, aber auch auf konsolidierende Maßnahmen weitgehend verzichtet wurde, so dass heute ein Pflegestau von bis zu hundert Jahren festzustellen ist (Abb. 7, 8).

Zwei wichtige, das heutige Berufsbild des Restaurators prägende Momente lassen sich mit dem Denkmalamt in Halle/Saale verbinden: die Gründung der ersten „modernen“ Restaurierungswerkstatt an einem Denkmalamt im Jahre 1926 und die Einrichtung des ersten chemischen Labors in einer Restaurierungswerkstatt der Denkmalpflege im Jahre 1969. Die Außenwirkung dieser so genannten „Lehr- und Versuchsanstalt“ blieb jedoch seit ihrer Gründung auf die Bearbeitung einer kleineren, dafür aber umso bedeutenderen Anzahl von Wandmalereien beschränkt, die nach den jeweils herrschenden materialkundlichen Standards behandelt werden konnten. Die dabei frühzeitig als notwendig erachtete Symbiose zwischen restauratorischer Praxis und interdisziplinärer Forschung konnte sich zwar aufgrund der Rahmenbedingungen in der DDR während der fünfziger und sechziger Jahre auf hohem Niveau entwickeln, aber nicht breitenwirksam durchsetzen. Die den Zeitumständen geschuldete Bauvernachlässigung und der fast vollständige Verzicht auf Bauunterhalt über Jahrzehnte verstärkten ein für die moderne Restaurierungswissenschaft mittlerweile symptomatisches Problem: die verstärkte Notwendigkeit des konservatorischen Umgangs mit Altrestaurierungen. In Sachsen-Anhalt erschweren immer noch verschiedene Aspekte die Umsetzung einer als dringend zu erachtenden konzertierten Konservierungskampagne: So ist es der Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt in ihrer mehr als hundertfünfzigjährigen Geschichte nicht gelungen, ansatzmäßig einen gattungsspezifischen Katalog zur Wandmalerei vorzulegen. Auch der Versuch von Heinrich L. Nickel, die mittelalterliche Wand- und Gewölbemalerei für das Gebiet der ehemaligen DDR im Überblick darzustellen und erstmals zusammen mit Gerd Baier, Gerhard Femmel und Karl-Max Kober 1976 in dem Band „Wandmalerei in der DDR“ zu veröffentlichen, blieb bedauerlicherweise bis heute ohne Nachfolge.

Der Grund hierfür mag in den bereits zum Zeitpunkt des Erscheinens veränderten denkmal- und gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen begründet liegen: Die große Zeit

der unter Konrad Riemann innovativ arbeitenden Restaurierungswerkstatt in Halle war zumindest im Bereich der Wandmalereikonservierung vorbei, als die in der Folge des Europäischen Denkmalschutzjahres 1975 gegründeten VEB-Denkmalpflegebetriebe sowie die ersten Absolventen der Restauratorenschulen zunehmend eigenverantwortlich die Arbeit vor Ort übernahmen. Daneben banden in den achtziger Jahren die Folgen der Umweltverschmutzung, der Mangelwirtschaft und nicht zuletzt die drohende staatlich verordnete Zerstörung der Altstädte die Kräfte der Denkmalpfleger.

Eine systematische Erfassung von Wandmalerei unter kunsthistorischen, restauratorischen oder materialkundlichen Aspekten konnte, da sie von Institutsseite nicht leistbar war, in Ansätzen nur unter Prof. Roland Möller und seinen Studenten an der Hochschule für Bildende Künste (HfBK) Dresden erfolgen. Die Nachwendezeit ließ zunächst die bauliche Sicherung vorrangig erscheinen. Zwar wurde zu Beginn der neunziger Jahre der Versuch unternommen, das von Dr. Peter Königfeld am damaligen Institut für Denkmalpflege Niedersachsen betreute mehrjährige Forschungsprojekt „Wandmalereischäden“ (1987–1991) des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) nach Sachsen-Anhalt und Sachsen auszuweiten. Ein Anschluss konnte nicht zuletzt aus Zeitgründen nur mit einer Voruntersuchung in Axien bzw. mit einem Folgeprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) zur Erhaltungsproblematik der Putzritzungen am Kreuzgang des Magdeburger Doms gefunden werden. Da am Landesamt für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt zudem bis 1998 eine restauratorische Betreuung von Wandmalerei personell nicht abgedeckt war, wurde seitens der Amtsleitung versucht, diese Lücke durch freiberuflich Tätige auf Werkvertragsbasis bzw. durch die bereits bewährte Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Möller und seiner Fachklasse an der Hochschule für Bildende Künste Dresden bedarfsweise abzudecken. Nachdem die Abteilung Inventarisierung des Landesamtes für Denkmalpflege bis 2004 mit der so genannten Schnellerfassung betraut war und bewegliches Kunstgut wie baugebundene Ausstattung nicht Gegenstand dieser Arbeit sein konnte, stellt sich heute das Fehlen eines Wandmalereikatalogs angesichts der außergewöhnlich hohen Qualität und Quantität des in Sachsen-Anhalt überkommenen Bestandes und seiner unmittelbaren Gefährdung infolge jahrzehntelanger Vernachlässigung als ein nicht mehr hinnehmbares Defizit dar.

Zur Vorgehensweise bei der Erstellung des Wandmalereikatalogs:

Bis in die jüngste Zeit baute sich ein üblicher Gattungskatalog auf folgenden Kriterien auf:

- Baubeschreibung und Baugeschichte
- Datierung der Ausmalung
- Restaurierungsgeschichtlicher Abriss
- Erläuterung des Wandmalereibestandes in Wort und Bild.

Heutige Standards¹ interdisziplinärer Zusammenarbeit machen jedoch vor allem unter den oben angeführten Rahmenbedingungen in Sachsen-Anhalt darüber hinaus eine

- mal- und material-technische Beschreibung sowie eine
- aktuelle Zustands- und Schadensbilderfassung als Bestandskritik unabdingbar, deren Bearbeitungstiefe nicht überschätzt werden darf, aber zumindest über die Klassifizierung der Eingriffsnotwendigkeiten (direkte oder indirekte konservatorische Maßnahmen) informieren und Planungssicherheiten (präventive Konservierung) für die praktische Denkmalpflege gewährleisten muss.

Die besonderen Umstände in Sachsen-Anhalt lassen daher folgendes Vorgehen sinnvoll erscheinen: In einem ersten Schritt muss die Auswertung der

- Alt- und Ortsaktenbestände im Archiv des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt (LDA),
- veröffentlichten Altverzeichnisse, des Dehio und deren anschließende

Korrelierung mit dem bereits von Heinrich L. Nickel bis zu Beginn der siebziger Jahre erfassten Bestand erfolgen.

Als zweiter Schritt muss die

- Ergänzung der bis 1974 nicht erfassten Malereien und die
- Erfassung aller zwischen 1974 und 1990 erstellten Bereisungsprotokolle, Vermerke, Gutachten und Dokumentationen des Institutes für Denkmalpflege in Halle folgen.

Schließlich gilt es, die zwischen

- 1990–1998 im LDA gesammelten Dokumentationen freiberuflich tätiger Restauratoren, Projektberichte, Gutachten, Seminar-, Fach-, Diplom- bzw. Magister- und Doktorarbeiten von restauratorischen, kunstwissenschaftlichen etc. Ausbildungsinstitutionen hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit zu werten und weitere
- Dokumentationen, die bei Unteren Denkmalschutzbehörden, den Kirchbauämtern oder anderen Institutionen dezentral aufbewahrt werden, aufzufinden zu machen.
- Nicht zuletzt sollten Befragungen und Interviews mit ehemals verantwortlich Aktiven durchgeführt werden und inzwischen verlorene Malereien dokumentiert werden.

Die Eingabe dieser Daten geschieht computergestützt in Hinblick auf eine zukünftige Anbindung an ein amtsinternes GIS-System.

Zum Forschungs- und Bearbeitungsstand

Da bisher im eigentlichen Sinne keine kunstwissenschaftliche Grundlagenforschung betrieben wurde, sind Forschungsdesiderate bezüglich aller methodischen Vorgehensweisen aufzuzeigen. Das Bundesland Sachsen-Anhalt entspricht als ein modernes politisches Kunstgebilde weder geschlossenen mittelalterlichen Herrschaftsgebieten noch kirchenpolitisch einheitlichen Zuständigkeitsbereichen. Somit ist mit unterschiedlichsten kulturellen Einflüssen zu rechnen, die noch zu konkretisieren sind. Die Notwendigkeit einer Erweiterung des Blickwinkels über die heutigen Landesgrenzen hinaus nach Thüringen, Sachsen, Niedersachsen und Brandenburg, ja nach Mecklenburg-Vorpommern sowie nicht zuletzt nach Polen und Tschechien erscheint hierfür grundlegend. Dem monographisch Arbeitenden war es in der Vergangenheit somit nahezu unmöglich, einen Überblick zu gewinnen und Bezüge jeglicher Art herzustellen. Besonders problematisch erscheinen die in der

bisherigen Forschung erfolgten zeitlichen und stilkritischen Einordnungen. Bis auf die bereits erwähnte Überblicksdarstellung von Heinrich L. Nickel, die als naturgemäß lückenhaft und summarisch einzuschätzen ist und über einen in Umfang und Qualität ungenügenden Abbildungsteil verfügt, bieten nur sehr vereinzelte monographische Untersuchungen vertieftes Wissen an. So fanden bisher insgesamt auch nur wenige „Hauptwerke“ sachsen-anhaltischer Wandmalerei (sehr unzureichend und oftmals auch von falschem Überlieferungszustand ausgehend) Eingang in die kunsthistorische Forschung. Nach diesem Kenntnisstand gibt es weder absolut datierbare Wandmalereien in Sachsen-Anhalt, noch konnte – aufgrund der zuvor genannten Defizite – eine relative Chronologie auf eine sichere Basis gestellt werden. Zukünftig bedarf es vielmehr intensiver Abwägungen mit den Indizien, die sich aus Baugeschichte, Maltechnik und Epigraphik sowie den historischen Voraussetzungen ergeben.

In der Vergangenheit konnten seitens der Restaurierungswissenschaften lediglich die bekanntesten und herausragendsten Beispiele mittelalterlicher Wandmalerei in unterschiedlicher Bearbeitungstiefe dokumentiert werden. Schon sehr früh wurden im 19. Jahrhundert Zeichnungen, Aquarelle oder 1:1-Pausen zur Dokumentation verschiedener Erhaltungszustände angefertigt. Diese wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts zunehmend durch Fotografien und summarische Maßnahmenberichte ergänzt, die aber nur bedingt Auskunft über verwendete Materialien und Anwendungstechniken geben. Als vorbildlich hingegen können die Arbeitsberichte zur Konservierung der Deckenmalereien in der Krypta der Stiftskirche zu Quedlinburg benannt werden, da sie den damaligen von Paul Philippot mit Paolo und Laura Mora über IIC und das Rome Center (später ICCROM) international postulierten, aber bei weitem in der Breite noch nicht erreichten Standards der Wandmalereikonservierung entsprachen (Abb. 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Ein repräsentativer Überblick über die Jahrhunderte lang gebräuchlichsten Ausführungstechniken und die dabei verwendeten Materialien stellt somit ein Desiderat dar. Der „Retortenstaat“ Sachsen-Anhalt vereinigt aber, davon ist auszugehen, die wesentlichen Traditionen der in Deutschland anzutreffenden Wandmalereitechniken.

Als erster unabdingbarer Schritt vor der Erstellung eines Kataloges wurden seit 1998 so genannte Inspektionen durchge-

¹ Siehe hierzu Matthias EXNER, Rezension zu Elga LANZ, Die mittelalterlichen Wandmalereien in der Steiermark. Mit Beiträgen von Miriam PORTA (Corpus der mittelalterlichen Wandmalereien Österreichs, Bd. II), Wien 2002; vergleichend herangezogen: Ursula SCHÄDLER-SAUB, Gotische Wandmalereien in Mittelfranken. Kunstgeschichte, Restaurierung, Denkmalpflege (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Bd. 109), München 2000; Rolf-Jürgen GROTE - Kees VAN DER PLÖEG, Wandmalerei in Niedersachsen, Bremen und im Groninger Land. Fenster in die Vergangenheit (2 Bände), Hannover 2001, in: Kunstchronik 57, 2004, S. 369–376.

² Deutsche Stiftung Denkmalschutz, Toto/Lotto, Kirchliche Kunst- und Kulturgutstiftung in der Kirchenprovinz Sachsen, Fluthilfe des Bundes und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt u. a. m.

³ Siehe hierzu besonders: Jürgen PURSCHE, Die „Entsorgung“ restauratorischer Eingriffe an Wandmalereien. Zum Problem der Restaurierung, in: Das Denkmal als Altlast? Auf dem Weg in die Reparaturgesellschaft. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Lehrstuhls für Denkmalpflege und Bauforschung der Universität Dortmund, 11.–13.10.1995 (ICOMOS-Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXI), München 1996, S. 77–85.

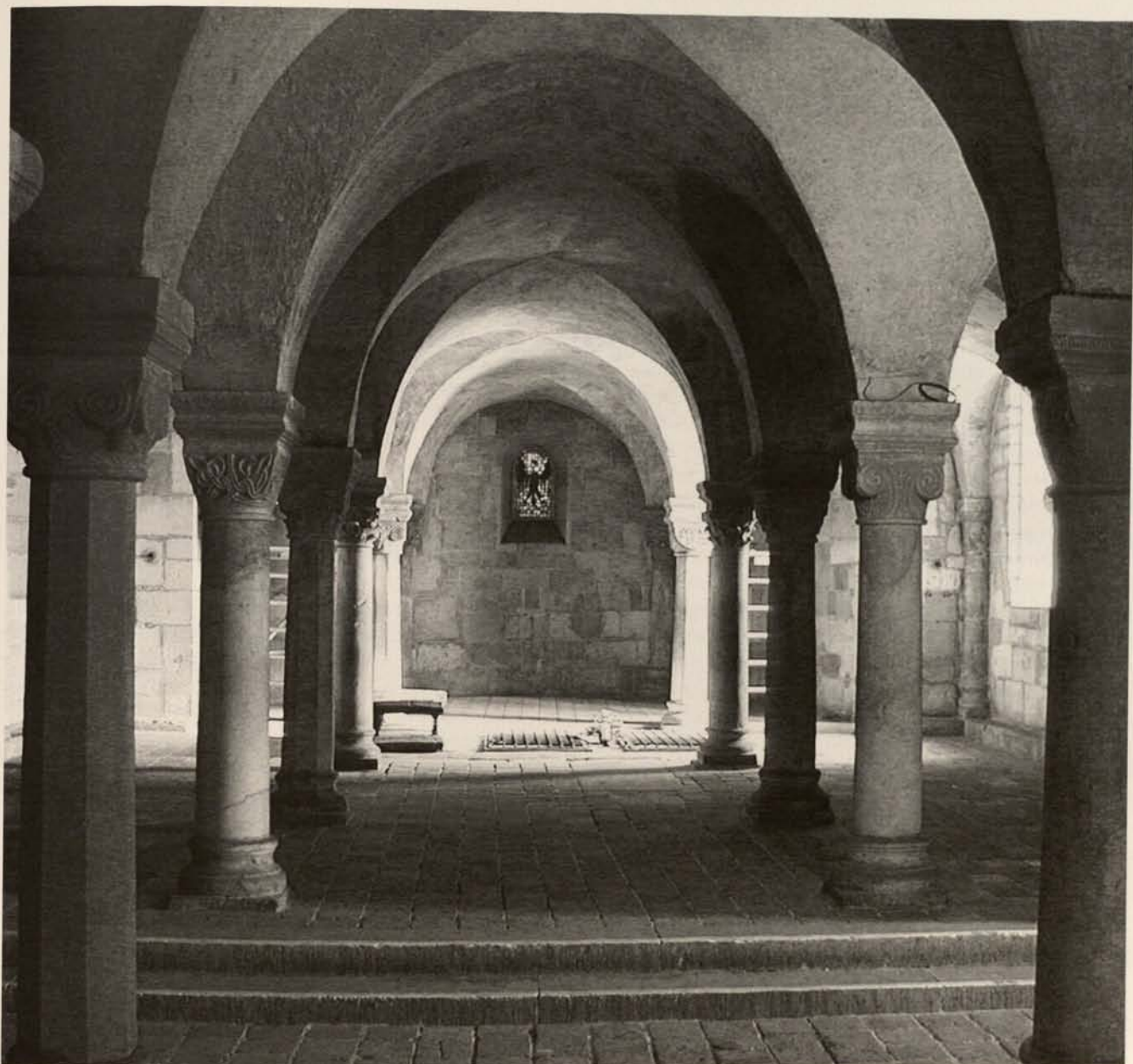


Abb. 1. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Blick nach Osten.

führt: Dabei konnten aber lediglich im Rahmen üblicher Bereinungen bemerkte Malereien aufgenommen und einer Notsicherung mit Hilfe von Landes- und Stiftungsmitteln² bzw. einer Bearbeitung im Rahmen von Seminar- und Diplomarbeiten an den (Fach-)Schulen Hildesheim, Potsdam, Dresden und Köln zugeführt werden. Eine Ausnahme blieb bislang ihre nachhaltige Konservierung im Rahmen gezielter Fördermaßnahmen, wie dies zum Beispiel im Fall der Gewölbemalereien in der Krypta der Stiftskirche zu Quedlinburg möglich wurde. Dabei aufgetretene Forschungsdesiderate der Restaurierungswissenschaften wurden teilweise in beispielgebenden Grundlagenarbeiten befriedigt. Nachdem dieses Vorgehen rein reagierenden Charakter haben musste und darüber hinaus die seit je im Mittelpunkt stehenden Hauptwerke – wie schon in den fünfziger und sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts – alleinige Aufmerksamkeit zu finden scheinen, soll in der nächsten Zukunft mit einem so bald als möglich zu erarbeitenden Überblickskatalog eine Prioritätensetzung für die Erhaltung der

gefährdetsten und der bislang nicht im Blickfeld stehenden Malereien ermöglicht werden. Gleichzeitig sollten die in den vergangenen Jahren als Zufallsfunde neu- bzw. wiederentdeckten und bis heute weitgehend unberührt erhaltenen Malereien aus dem 13. Jahrhundert vorrangig zur Schaffung einer relativen Chronologie wissenschaftlich aufgearbeitet werden.

Die Verwendung (filmbildender) organischer und anorganischer Festigungsmittel als Alllast der Restaurierungsgeschichte³

Neben der vor allem im 19. Jahrhundert üblichen Praxis der Nahrung mit Wachs-Harzgemischen lässt sich in Sachsen-Anhalt bis in die späten fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts hinein, die bereits von Rathgen empfohlene Tränkung von Wandmalereien mit Fluaten, tierischen und pflanzlichen Leimen feststellen. Mit der Einrichtung des ersten chemischen

Labors in einer Restaurierungswerkstatt der Denkmalpflege am Institut in Halle Mitte der sechziger Jahre kamen nach ersten Pilotprojekten, wie der hier im Anschluss vorgestellten Konservierung der Deckenmalereien in der Krypta der Stiftskirche zu Quedlinburg, die von Helmuth Materna mit polnischen und tschechischen Fachleuten entwickelten Kunstharze, vor allem aber PVA und PVAc verstärkt zum Einsatz. Auch hier unterblieb aufgrund der bereits erwähnten politischen Rahmenbedingungen eine Pflege und Wartung. Mittlerweile stellt sich dieser dreißig- bis hundertjährige Pflegestau als ein flächendeckendes Problem dar, dem aus Geldmangel lediglich mit bewährten Methoden der präventiven Konservierung begegnet werden kann. Im Folgenden soll gezeigt werden, dass indirekte Maßnahmen – wie kontrollierte Wasserableitung, Stabilisierung des Raumklimas nach entsprechenden Messungen und bauphysikalische Analysen – Schadensprozesse wesentlich verlangsamen oder gar stoppen können. In Zusammenarbeit mit den Fachhochschulen Hildesheim und Potsdam, vor allem aber mit der HfBK Dresden konnten im Rahmen von Diplomarbeiten neue Strategien im Umgang mit diesen Bedingungen erarbeitet und darüber hinaus Grundlagen für gezielte Fördermaßnahmen gelegt werden. Gleichzeitig etablierte sich ein Netzwerk qualifizierter Bearbeiter, die einer teilweise unumgänglichen Entrestaurierung das heißt Reduzierung bzw. Totalabnahme von Kunststoffüberzügen und -tränkungen, verantwortungsvoll begegnen können. Bevor hier auf einige Fallbeispiele eingegangen werden soll, ist auf zwei landschaftsgebundene Besonderheiten sowie auf eine fixe denkmalpflegerische Idee zu verweisen, die die Erhaltungspraxis von Architekturoberflächen, besonders im Harzgebiet, erschweren:

- Das denkmalpflegerische Dogma: an einem romanischen Bau könne es keine Dachrinnen, Fallrohre, Vor- und Schutzdächer geben. Diese dezidierte Haltung, die zu DDR-Zeiten vielleicht ästhetische und praktische Überzeugungen zusammenführte – es gab ja oft kein Baumaterial – führte nach der Wende sowohl zu einer kategorisch ablehnenden, allen bauphysikalischen Offensichtlichkeiten widersprechenden kategorisch ablehnenden Haltung wie auch zu ebenso willkürlichen Materialschlachten, um die daraus resultierenden Schäden in den Griff zu bekommen.
- Das Baumaterial Hochbrandgips ist in Sachsen-Anhalt auf Grund natürlicher Gipsvorkommen weit verbreitet. Neben Gips ist im Zechsteingebiet des Vorharzes auch mit dolomitischem Kalk zu rechnen. Die extreme Luftverschmutzung der im Harz zu DDR-Zeiten angesiedelten Industrie führte darüber hinaus bei Kalkputzen zu starken Vergipsungen bzw. zur Ausbildung von Magnesiumsulfaten etwa im Zeitzer Raum. Gips ist somit allgegenwärtig. Dauerfeuchte lasten durch ungenügende Dachwasserableitung und fehlende Vertikalsperren schwächen den im Fundamentbereich und im Mauerwerk verarbeiteten Gips und führten bzw. führen noch immer zu statischen Schäden. Diesen wurde in den neunziger Jahren durch die Verwendung von Trass und HS-Zementen zur Mauerwerkssicherung begegnet, worauf heute ungleich massivere statische Schädigungen durch Thumasit und Entingit-Bildung auftreten. Ein Teufelskreis.⁴
- Die sich aus Punkt 1 und Punkt 2 ergebende Dauerfeuchte bzw. zyklische Schadsalzschädigung in Übergangsbereichen bietet einen günstigen Nährboden für Algen, Bakterien und Pilze auf organisch gebundenen bzw. nachträglich mit Kunststoffen und Proteinen gefestigten Wandmalereien. In

Folge von Stoffwechselprozessen kann deren Besiedelung zu Farbveränderungen, Bindemittelverlusten, aber auch zu mechanischen Schädigungen führen. Eine hohe Mauer- und Luftfeuchtigkeit, gepaart mit höheren oder stark schwankenden Temperaturen, eine starke Staublast oder allgemein industrielle Schadstoffbelastung der Luft begünstigt vor allem das Dominieren dunkel gefärbter Pilze wie etwa der Cladosporium-Arten. Diese finden sich bevorzugt auf Leimen und Kohlehydraten, aber auch auf höher polymeren Kohlenwasserstoffen. Karin Petersen konnte in einer in den Jahren 2000 und 2002 durchgeführten Reihenuntersuchung sowohl an den Malereien der Stiftskirche und der Wipertikirche in Quedlinburg, am Heiligen Grab in Gernrode, an den Chorschranken der Liebfrauenkirche in Halberstadt und in der Klosterkirche Gröningen Cladosporium-Arten, unterschiedliche Schimmelpilze, Penicillium-Arten, denen wegen der Fähigkeit zur Säurebildung ein erhebliches Schadenspotential zugesprochen werden muss, ja sogar human-toxische Vorkommen des Aspergillus flavus, besser bekannt als „Fluch der Pharaonen“, nachweisen. Durchgängig konnten bei extrem geringer Materialmenge Mikroorganismen in teilweise ganz erheblicher Menge herangezogen werden.

- Neben den Schadenspotentialen von Wasser in Verbindung mit Gips als Primärmaterial oder als Abbau- und Umwandlungsprodukt, neben der wandmalereischädigenden Wirkung von Salzkristallisationszyklen und Mikroorganismen stellt aber auch das Alterungsverhalten von natürlichen und künstlichen Bindemittelfilmen allein und in Verbindung mit den anderen Faktoren ein nicht zu unterschätzendes Restrisiko dar: Die elektrostatische bzw. bei Erwärmung schmutzanziehende Eigenschaft von Kunstharzfilmen, ihre hohe Eigenspannung, ihre Neigung zu Versprödung, Vergilbung und Säureabspaltung sind ein lange bekanntes und immer wieder beschriebenes Phänomen. Seit 1983 wurde am Canadian Conservation Institute (CCI) eine Studie zum Alterungsverhalten von Polyvinylacetaten durchgeführt, und Ivo Hammer hatte 1987 in seinem Aufsatz „Organisch oder anorganisch? Probleme der Konsolidierung und Fixierung von Wandmalerei“⁵ erste Zweifel an der seit den sechziger Jahren geübten Praxis systematisch in einem Fragen- und Produktkatalog aufbereitet. 1998 hat Elke Kuhnert mit ihrer Diplomarbeit an der HfBK Dresden zu den mit PVAc gefestigten Wandmalereien in der Dorfkirche zu Semlow einen ersten Lösungsansatz zur möglichen Reduzierung von Kunststoff-Filmen erarbeitet, der seit dem Jahr 2000 von Thorsten Arnold, Stephanie Fischer und zuletzt mit großem Erfolg von Martin Lehmann systematisch weiter getragen wurde. Auch auf dem Gebiet der materialtechnischen Erforschung von Anhydritgips konnten die durch Roland Möller begonnenen Arbeiten mit Thomas Schmidt und Roland Lenz fortgesetzt werden. So ist in mehreren in der Ziegelei

⁴ Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt (Hrsg.), Sanierung von gipshaltigem Mauerwerk, Tagung Quedlinburg (finanziell unterstützt durch die Deutsche Stiftung Denkmalschutz), 15. März 2004. Veröffentlichung als CD-ROM „Gipstagung“, Halle 2005.

⁵ IVO HAMMER, Organisch oder anorganisch? Probleme der Konsolidierung und Fixierung von Wandmalerei (mit Literatur-, Material- und Produkthinweisen), in: Manfred KOLLER - Rainer PRANDTSTETTEN (Hrsg.), Restauratorenblätter, Band 9: Wandmalerei, Sgraffito, Stuck, Wien 1987/88, S. 59–72.

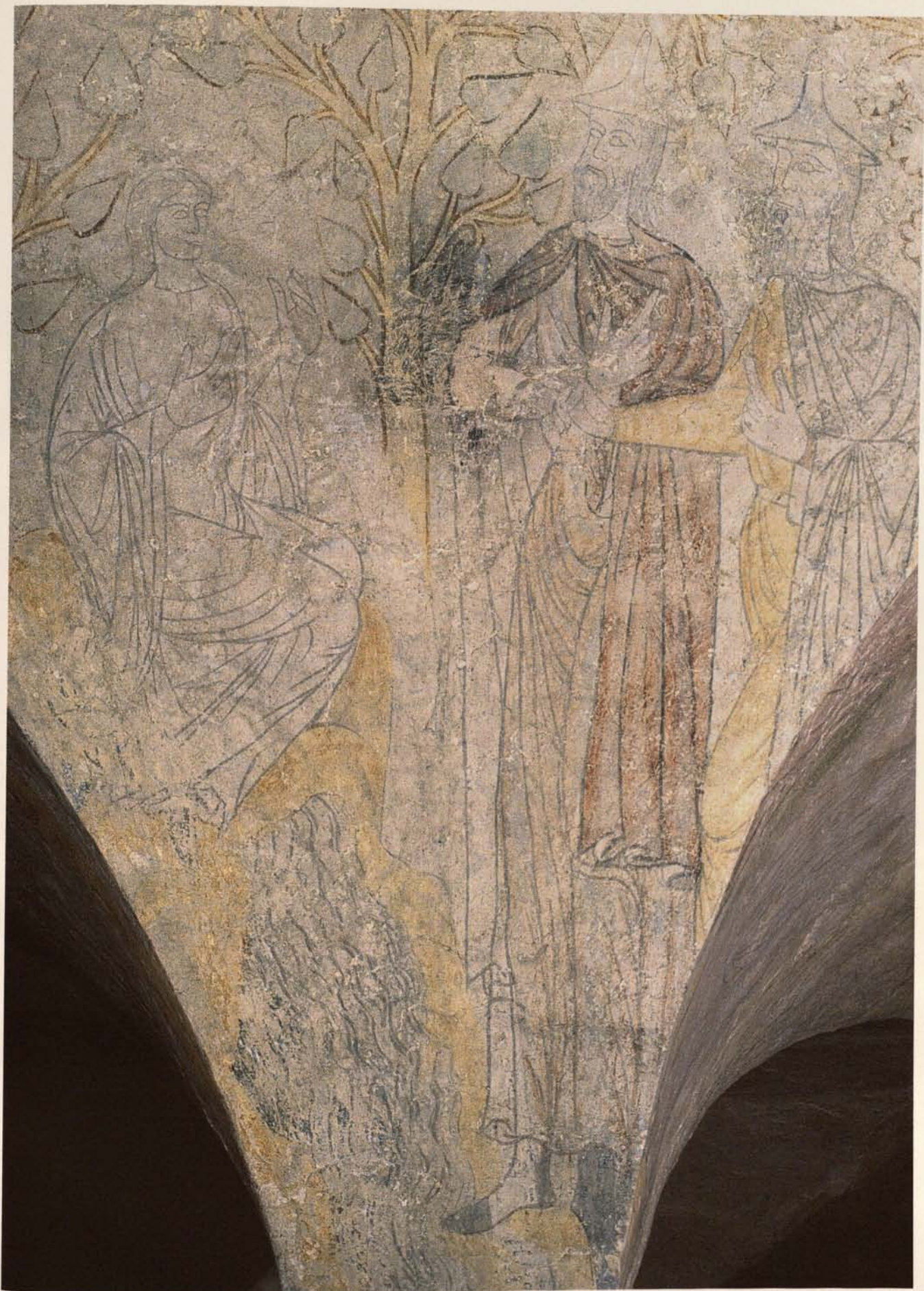


Abb. 2. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Susannenlegende: Susanna und die beiden Alten.

Hundisburg e.V. erfolgreich durchgeführten Feldbränden Anhydritgips wieder verfügbar gemacht worden, wenngleich die Konsolidierung von romanischer Stuckplastik in adhäsiver und kohäsiver Weise noch ein Desiderat darstellt.⁶ In Bezug auf die Anwendung von trocken gelöschten Putzen als Kompressenputze zur Salzreduktion konnten nicht zuletzt mit einer Evaluation der bisherigen Arbeiten im Rahmen einer Diplomarbeit weitere Sicherheiten im Umgang mit dieser speziellen Verarbeitungstechnik erreicht werden.⁷

Halberstadt, Liebfrauenkirche (1998–2004)

Die im späten 13. Jahrhundert entstandenen und mehrfach überarbeiteten Wandmalereien und Stuckapplikationen des Bogenfeldes an der Ostfassade des Südquerhauses von Liebfrauen wurden bereits während der Restaurierung der Kirche durch Ferdinand von Quast Mitte des 19. Jahrhunderts nach einem Rezept des Halberstädter Apothekers Lucanus mit Balsam-Wachsfarben (sog. Harzfarben) „wiederhergestellt“. 1930 brachte der Amtsrestaurator Albert Leusch abfallende Stuckteile mit Bronzedübel wieder an und hydrophobierte das Bogenfeld mit einer Wachsschicht, die er mit einer Flamme „einbrannte“. 1998 wurde wegen akuter Gefährdung des Bildfeldes durch direkten Feuchteintrag eine Notsicherung durchgeführt sowie eine mit einem Datenlogger kontrollierte temporäre Einhausung mit einer wärmedämmten Spanplatte vorgenommen. Angelika Müller konnte in ihrer Diplomarbeit nicht nur ein geeignetes Konservierungskonzept entwickeln,



Abb. 3. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Susannenlegende: Susanna wird vor Gericht gebracht.



Abb. 4. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, neutestamentlicher Zyklus: Speisung der Fünftausend, Ausschnitt.

sondern auch verschiedene Schutzdachlösungen vom frühen 17. Jahrhundert bis zur Wiederherstellung der Kirche Mitte des 19. Jahrhunderts unter Ferdinand von Quast nachweisen. Damals wurde ein bis zuletzt dort bestehendes Pultdach beseitigt. Bei der 2003 schließlich möglich gewordenen Konservierung und Restaurierung des Bildfeldes wurde neben der Regulierung der Wasserableitung eine optisch zurückhaltende Schutzdachlösung gefunden.⁸

Die berühmten Chorschranken aus polychromem Hochbrandgips im Inneren der Liebfrauenkirche wurden im Zuge der 1998 begonnenen Generalsanierung zunächst ohne Einbindung eines Restaurators eingehaust. Damals eingeleitete und bis zur Aushausung 2004 durch das Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen/Sachsen-Anhalt konsequent durchgeführte Klimamessungen sowie die Auswertung verschiedener restauratorischer Monitoringbereiche durch Thorsten Arnold lassen folgende Bewertung zu:

- Die Materialien der Einhausung (Fichtenholz, Pressspanplatten und Plexiglas) stellen für sich kein Schadenspotential dar.

⁶ Thomas DANZL, Das produzierende Denkmal Ziegelei Hundisburg: Initiativen zur Wiedereinführung von Kalk- und Anhydrit-Techniken in der Baudenkmalpflege 1999–2005. Zur Veröffentlichung vorgesehen in: EUROCARE-Projekt EU 791 „EUROLIME“ (4. EUROLIME-Treffen im Freiluftmuseum Ballenberg, 4.–6. August 2005); Ders., Eine Initiative zur Wiedereinführung der Kalktechnologie in der Denkmalpflege Sachsen-Anhalts, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 9, 2001, S. 69–72.

⁷ Anke DALL, Einsatz trocken gelöschter Mörtel auf salzbelastetem Mauerwerk. Diplomarbeit FH Potsdam 2003, finanziert durch das Landesamt für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt (LDA).

⁸ Zu Schutzdächern allgemein siehe: Manfred KOLLER - Rainer PRANDTSTETTEN, Restauratorenblätter, Band 16: Fassadenmalerei / Painted Facades (Forschungsprojekt EUROCARE 492 Muralpaint), Wien 1995.

⁹ Ausführung durch die Firma Steinbrecher.



Abb. 5. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, neutestamentlicher Zyklus: Speisung der Fünftausend, Ausschnitt.

- Das Binnenklima folgt gedämpft dem Raumklima.
- Die Herausbildung eines abgekoppelten Mikroklimas in der Einhausung erfolgte nicht.
- Eine Feuchtequelle im Inneren der Chorschranken konnte aufgrund gleicher Mittelwerte der relativen und absoluten Luftfeuchte zum Raum ausgeschlossen werden.
- Die Farbfassung der von der direkten Sonneneinstrahlung auf der Südseite betroffenen Figuren zeigte jedoch schon vor der Einhausung spezifische Schädigungen, die sich aber nicht weiterentwickelten.
- Der über Jahrzehnte bestehende Schadensprozess im Bereich der Malschicht, der die periodischen Sicherungsarbeiten durch Konrad Riemann mit Kunststoffen ausgelöst hatte, konnte bis zur Aushausung im Jahre 2004 gestoppt werden
- Wirklich dramatische Schadensbilder in Form von großflächigen Hohllagen und Blasenbildungen zeigen die aufgesetzten Holzarkaden, die Schäden nehmen seit der Aushausung auch weiter zu und erfordern laufende Not-sicherungen.
- Momentan sind Musterachsen zur Staubabnahme und zur Reduzierung der Kunststoff-Filme angelegt und indirekte Sicherungen eingeleitet. Eine Aufrüstung der südlichen Obergadenfenster mit UV-Schutz ist geplant. Der Zugang über das Südquerhaus wurde unterbunden – eine künftige Zugänglichkeit über den im Westen liegenden Kreuzgang und durch einen zu konstruierenden Windfang wird derzeit noch kontrovers mit der Kirchengemeinde diskutiert.

Ehem. Klosteranlage Ilsenburg, Refektorium (2001–2004)

An der Ostwand des Refektoriums im ehemaligen Kloster befinden sich bedeutende Relieffragmente einer mittelalterlichen Kreuzigungsgruppe aus Anstrichstück. Die Jahrzehnte dauernde Bauvernachlässigung führte zu einem massiven Wassereintrag und zu einer extremen Salzbelastung, vor allem

mit Natriumsulfat. Im Rahmen der seit 2001 begonnenen Instandsetzungsarbeiten wurde vom damaligen Amtsleiter die Installation einer Bauteiltemperierung und, entgegen der restauratorischen Empfehlung, die unmittelbare Rekonstruktion des historischen Gipsestrichs beschlossen.⁹ Die zu erwartende lange Austrocknungsphase hätte wohl eine eventuell auch nur temporäre diffusionsoffene Ebene, wie einen hölzernen Dielenboden oder einen im Sandbett verlegten Ziegelboden zur beschleunigten Trocknung und als zusätzliche Pufferebene sinnvoller erscheinen lassen. Als Begleitmaßnahmen wurden neben einer Vertikalsperre zwei Kompressenzyklen mit dem hier erstmals erprobten Produkt Cocon von Westox zur Salzreduktion durchgeführt und entsprechend dem Vorbild des 19. Jahrhunderts ein gekratzter, nun aber trocken gelöschter Flächenputz als Kompressenputz zur weiteren Salzreduktion aufgebracht. Die Einhausung der Stuckreliefs wurde notwendig, um weitere Gefügestörungen durch zyklische Salzkristallisationsprozesse im Zuge der notwendigen Trocknungsphase von Mauerwerk und neu eingebrachtem Gipsestrich zu vermeiden. Um eine Zustandskontrolle des Reliefs durch den Restaurator (Roland Lenz) des Reliefs zu ermöglichen, wurde eine Öffnungsmöglichkeit der Einhausung durch eine Art Schiebefenster baulich vorgesehen. Mittelfristig wird zur Bestimmung einer noch zu entwickelnden nachhaltigen Konservierungsmöglichkeit des gefügeschädigten Gipsstückes eine weitere Einhausungsvariante mit Arbeitsmöglichkeit über einen längeren Zeitraum vorgehalten werden müssen. Eine wesentliche Pufferwirkung und damit eine Kappung der Spitzenwerte konnte aber bereits mit der nur temporären Einhausungsvariante erreicht werden.

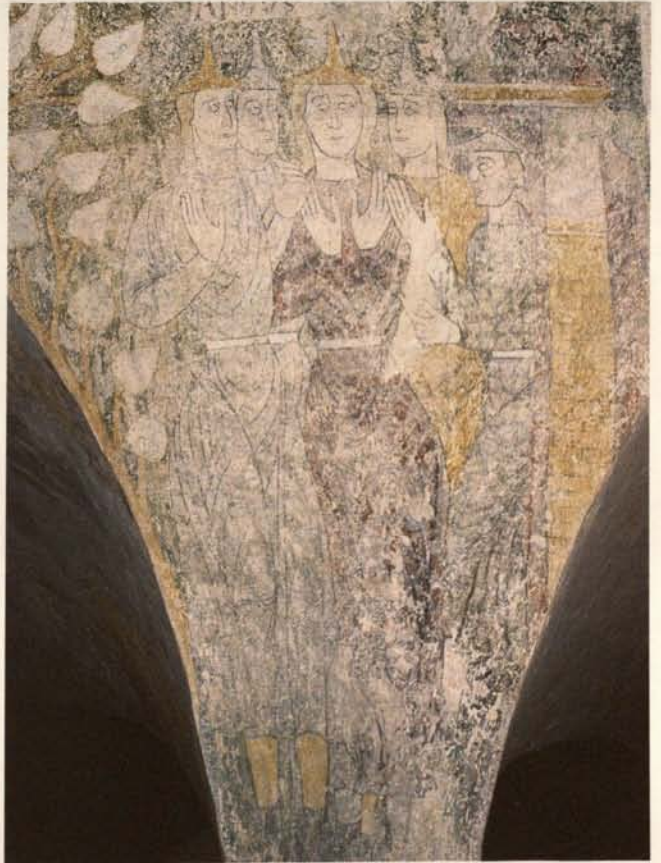


Abb. 6. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Susannenle-gende: Gerichtsszene mit Daniel.



Abb. 7. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta: Fragment einer weiblichen Figur.

Ehem. Klosterkirche Gröningen (2003–2004)

Die in den sechziger Jahren mit Kunststoffen gefestigten Maleereien in der Krypta der ehemaligen Klosterkirche wurden in einer restauratorischen Bestands- und Zustandskartierung durch Stephanie Fischer erfasst. Der massive und unkontrollierte Feuchteintrag über eine ungenügende Dachwasserableitung führte nicht nur zu statischen Schädigungen im Fundamentbereich der Südwand des Langhauses, sondern beschleunigte auch die Schadensprozesse auf der Wandmalerei. Das Anbringen einer angemessenen Dachrinne sowie der Bau einer Drainage und der berührungsarme wie zerstörungsfreie Einbau einer temporären Einhausung durch sensibel planende Architekten und entsprechend arbeitende Handwerker trugen in kürzester Zeit zu einer merklichen Verbesserung der Gesamtsituation bei. Neben der Anlage einer regelmäßig fotografierten Monitoringfläche, die repräsentative Schadensbilder aufzeigt, werden fort-dauernd seit Dezember 2003 durch die Restauratorin überprüfte Klimamessungen unter fallweisem Einsatz verschiedener Verschlussmöglichkeiten der Einhausung vorgenommen. In einer ersten Phase wurden der kaminartig wirkende Emporen-

zugang sowie die Konchenöffnungen verschlossen. Daneben erfolgte eine Abdichtung der Fenster, wohingegen die Zugänge vom Kirchenschiff geöffnet blieben, um eine Anpassung an das Binnenklima zu ermöglichen. Als erster Trend zeichneten sich eine allgemeine Beruhigung des Klimas in der Krypta und ein gedämpftes Folgen des Außenklimas, unter Kappung der Feuchte- und Temperaturspitzen, ab. Das Feuchteniveau bewegt sich um einen Mittelwert von etwa 80% mit fallender Tendenz. Problematisch erscheint nach wie vor die Etablierung eines angemessenen Lüftungsregimes: Im Sommer kam es zu täglichen Schwankungen um die 10% relativer Feuchte, weil die nordwestliche Tür regelmäßig zum Lüften geöffnet wurde.

Ehem. Stiftskirche Gernrode (2002–2004)

Der rapide Steinzerfall an der Westfassade des Hl. Grabes zu Gernrode lässt sich neben der aufsteigenden Nässe auch auf Kondensphänomene zurückführen. Seit 2002 werden neben kontinuierlichen Raumklimamessungen im Kirchenschiff und im Hl. Grab auch kontrollierte Trocknungsmaßnahmen vorgenommen. Neben einer Schadenskartierung und der Anlage einer Monitoringfläche durch die Restauratoren Corinna Grimm und Thomas Schmidt wurde das Hl. Grab bis auf weiteres für den Besucherverkehr geschlossen, da mechanische Schädigungen der sensiblen Oberflächen anders nicht auszuschließen sind. Eine vor allem an der Holzbalkendecke auftretende Schimmelbildung ist in erster Linie ebenfalls durch Kondensationsphänomene, vermutlich im Zuge der touristischen Nutzung, verursacht. Ferdinand von Quast hatte zwar in weiser Voraussicht Windfänge einbauen lassen, diese sind aber gerade zu Stoßzeiten in den Sommermonaten in der Regel geöffnet. Zur besseren Kontrolle des Lüftungsregimes wurde 2004 mit dem Lüftungsindikator „Lindi“¹⁰ ein Kontrollsystem installiert, das über eine Rot-Grün-Anzeige besonders nutzerfreundlich gehandhabt werden kann. Als Öffentlichkeitsarbeit sowie zur Aufklärung und Sensibilisierung der interessierten Besucher für konservatorische und restauratorische Belange wurden Informationstafeln aufgestellt.

Quedlinburg, kath. Kirche St. Wiperti (2002–2004)

In Vorbereitung der großen Baumaßnahme in St. Wiperti zu Quedlinburg wurde die dortige Ringkrypta mit ihrer fragmentarisch erhaltenen mittelalterlichen Wandmalerei durch eine zunächst temporäre Einhausung geschützt. Durch den offenen Dachstuhl, die großflächige Durchfensterung mit Einfachverglasung der Ostfassade und durch die der Krypta vorgelagerte Substruktion ist eine maximale Anbindung an das Außenklima gegeben. Dazu kommt eine bislang unkontrollierte bzw. ungenügend dimensionierte Dachwasserableitung, welche die Krypta in der jüngeren Vergangenheit zu einer Art Tropfsteinhöhle verkommen ließ. Die zunehmend freigewitterten Fugen der

¹⁰ Firma Hygrometrik, Ilmenau, Ansprechpartner: Herr Dr. Brockmann.

¹¹ Helmut STELZER, Altstadt Quedlinburg, in: Weltkulturdenkmäler in Deutschland (ICOMOS – Hefte des Deutschen Nationalkomitees III), München 1994², S. 116–119.

¹² Gabriele UNGER, Dissertation zu den Deckenmalereien am Kunsthistorischen Institut der Technischen Universität in Berlin (in Bearbeitung).

außen- und innenliegenden Mauerbereiche begünstigten einen fortgesetzten Wassereintrag, infolgedessen sich vor allem auf dem Kryptenboden, aber auch im Bereich des aufsteigenden Mauerwerkes Mikroorganismen flächig ausprägten. Lediglich im Grenzbereich der drei baulich vorgegebenen Öffnungen zum Großraum hin, kam es zu zyklischen Trocknungsphasen, die sich an der Intensität der Schädigungen an Putz, Fugenmörtel und Stein ablesen ließen. Wie schon am Fallbeispiel Kloster-Gröningen erläutert, kam es auch hier zu einer variablen und temporären Einhausung. Wenn sie sich, wie erwartet werden kann, bewährt, sollte sie einer dauerhaften baulichen Lösung Platz machen. Der Besucherverkehr wie die liturgische Nutzung sind hier zunächst aufrecht erhalten worden, wenngleich sich entsprechend dokumentierte Spitzenwerte der Messung eindeutig auf diese Nutzungszeiträume zurückführen lassen. Im Jahre 2002 erfolgte im Auftrag des LDA Sachsen-Anhalt eine Abnahme des vermutlich zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufgebrauchten spannungsreichen Stärkeleims und der Versuch einer Dekontaminierung von Schimmelpilzmyzelien mit einem 80%igen Isopropanol/Wassergemisch durch Peter Bux. Eine temporäre Festigung erfolgte mit Hilfe einer Mischung aus 3% Mowiol 4-98 und 2% Tylose MH 1000. Um eine Aufkonzentration der Raumfeuchte zu vermeiden und eine kontrollierte Abtrocknung der Krypta andererseits zu ermöglichen, wurden historische und in der Einhausung baulich mögliche Zwangsentlüftungen vorgehalten.

Pilotprojekt Quedlinburg, St. Servatius-Krypta (2000–2007)

Erst mit der Schließung der Krypta von Sankt Servatius für die Öffentlichkeit, die aufgrund der akuten substantiellen Gefährdung ihrer Deckenmalereien unumgänglich wurde, konnte eine Grundlage geschaffen werden, aktuelle Schadensdynamiken über einen Jahreszyklus zu erfassen und auszuwerten. Dies ist vor allem unter dem Aspekt der wirtschaftlichen Bedeutung des an und für sich noch entwicklungsfähigen Tourismus für Sachsen-Anhalt zunächst durchaus als problematisch zu werten (Abb. 10a-b). Als einer der Höhepunkte an der „Straße der Romanik“ ist die Stiftskirche zu Quedlinburg ein bedeutender Bezugspunkt mittelalterlicher Geschichte für den Harzraum wie für ganz Sachsen-Anhalt. Der Stiftsberg ist darüber hinaus wesentlicher Bestandteil des Weltkulturerbes „Fachwerkstadt Quedlinburg“. Die Krypta ist, abgesehen von ihrer Funktion als Grabstätte König Heinrichs I. und seiner Frau Mathilde, durch ihren umfassenden mittelalterlichen Deckenmalerezyklus des 12. Jahrhunderts bekannt, der eine Oberfläche von über 120 m² bedeckt (Abb. 1).

Der Erhaltungszustand ist seit dem 19. Jahrhundert als inhomogen zu bewerten: Große Bereiche sind in ihrem Malerschichtaufbau gestört und damit in ihrer Oberflächeninformation beeinträchtigt. Beachtenswert erscheint, dass die Malereien zwar zu Beginn des 20. Jahrhunderts von ihrer Über-tünchung den Gepflogenheiten der Zeit entsprechend freigelegt, dann aber trotz ihres reduzierten Zustandes ohne weitere künstlerisch-restauratorische Eingriffe belassen wurden (vgl. Abb. 7, 8). Der Einsatz von Gips und Kasein in den dreißiger Jahren und die Anwendung von Kunstharzen in den sechziger Jahren für Fixierung und Festigung haben damals die Stabilisierung eines äußerst gefährdeten Gefüges ermöglicht. Heute resultiert aus dieser historisch gerechtfertigten Behandlung eine besonders komplexe Situation. Die Salzbelastung und die damit ein-



Abb. 8. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta: Der Schwert-träger.

hergehende Sensibilität in Bezug auf mikroklimatische Belastungen sind darüber hinaus mit den spezifischen Eigenschaften synthetischer Harze verknüpft, die sich besonders mit der Filmbildung über einer ursprünglich porösen Putzstruktur verbinden. Die erwiesenermaßen starke Beeinträchtigung des Mikroklimas durch eine intensive touristische Nutzung ließ daher eine Schließung der Krypta für die Öffentlichkeit zur Verlangsamung der Schadensdynamik unumgänglich erscheinen. Raumklimatische Langzeituntersuchungen haben in den letzten Jahren aufgezeigt, dass sich die Methoden zur Erhaltung dieser sensiblen Oberflächen nicht nur auf eine kritisch durchgeführte Pflege, verbunden mit begleitenden präventiven Maßnahmen, beschränken kann, sondern aktive konservatorisch-restauratorische Eingriffe erfordert: Eingriffe, die einerseits zur Sicherung der Substanz als primärer Zielsetzung führen, gleichzeitig aber auch den Zugang zur Krypta für die Öffentlichkeit wieder ermöglichen. Um eine Erhaltung der Kryptenausstattung (z.B. Grabdenkmäler aus Anhydrit) und ihrer Bemalung zu garantieren, wurden umfassende Untersuchungen eingeleitet, die zum Verständnis des aktuellen Erhaltungszustandes beitragen sollten. Abgesehen von kunsthistorischen Forschungen¹²,



Abb. 9. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta: Aufstellung der Schautafeln zu Untersuchungsergebnissen und Maßnahmenkonzept.

wurden Studien zu Ausführungstechnik, zur Restaurierungsgeschichte, zu Schadensbildern und Schadensdynamiken sowie zum Klima ausgeführt. Als Dokumentationsbasis wurde ein digitales fotogrammetrisches Modell erstellt, das eine entzerrte Bildunterlage ermöglicht (mit einer Auflösung von 3 Pixel/mm²). Auf dieser Grundlage konnte nach Erstellung eines Glossars zu Technik und Zustand eine hoch aufgelöste Kartierung der Phänomene vorgenommen werden. Das Glossar wurde über eine rein visuelle Begutachtung der Phänomene erstellt und anschließend über naturwissenschaftliche Analysen verifiziert. Mit Hilfe dieser Kartierung konnte nicht nur eine bessere Lokalisierung bereits evidenter Schadensphänomene erreicht, sondern darüber hinaus der Nachweis einer weitreichenden Verbreitung kleinteiliger Phänomene ermöglicht werden, die ein erheblich massiveres Gefährdungspotential als die ins Auge fallenden Schadensbilder aufweisen. Dabei handelt es sich um ein offensichtlich flächendeckend verbreitetes und vielschichtiges Schadensbild, das sich vor allem in Form von Mikroschollen manifestiert, Kleinstabhebungen, verbunden mit der Aktivität von Salzen, vor allem Sulfaten, die sich in einer hochsensiblen dynamischen Abhängigkeit vom Mikroklima befinden (Abb. 14). Dies stellt ein teilweise unkontrollierbares Risiko für das Konservierungsvorhaben dar.

Die Ausführungstechnik der Malerei ist als Kalkmalerei zu verstehen. Auch wenn ein gewisses Abbinden durch den Auftrag der Pigmente in die frische Kalktünche vorausgesetzt werden kann, muss trotzdem der Einsatz von organischen Bindemitteln angenommen werden, deren Analyse durch unterschiedlichste Festigungsmaßnahmen der Vergangenheit jedoch behindert wird. Aus der Pigmentpalette ist, abgesehen von üblichen Erdpigmenten, die großflächige Anwendung von Vivianit zu nennen, einem seltenen Blaupigment, das sich großteils in Gelb verändert hat.

Der Erhaltungszustand der Malerei ist sehr inhomogen und in großen Teilen auf die Unterzeichnung reduziert. Eine Bilanz, die sich aus der Objektgeschichte (Übertünchung und zeitweise Verwahrlosung sowie massive Wasserinfiltration etc.) erklären lässt. Die Wiederentdeckung bzw. Wertschätzung der Krypta kam mit dem historischen Interesse des 19. Jahrhunderts, nachdem Teile der Malerei unter der abplatzenden Tünche sichtbar wurden. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Malerei-

zyklus freigelegt und sorgfältig mittels Aquarellskizzen und 1:1-Pausen dokumentiert, die sich heute im Archiv des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie in Halle befinden. Erstaunlich ist, dass man zwar auf jegliche Restaurierung – im Sinne von Festigungsarbeiten oder Retuschen – verzichtet, die Mühen einer sorgfältigen Dokumentation hingegen nicht gescheut hatte, ein Umstand, der Quedlinburg eine herausragende Stellung in der Geschichte der Restaurierung des ausgehenden 19. Jahrhunderts sichert. Eine solche Herangehensweise bleibt bis heute als Vorgabe der anstehenden Konservierung der Deckenmalereien maßgebend, zumal die folgenden Eingriffe des 20. Jahrhunderts sich ebenfalls ausschließlich auf rein konservatorische Maßnahmen beschränkt hatten: Die Verklebung und Festigung des Trägers mit Gips und Kasein in den dreißiger Jahren sowie mit Kunstharzen in den sechziger Jahren erfolgte ohne jeglichen restauratorischen Eingriff im Sinne einer Retusche, sieht man davon ab, dass Kunstharze auch zur Farbintensivierung eingesetzt wurden.

Der aktuelle Erhaltungszustand ist wesentlich durch eine massive Vergipsung beeinträchtigt, wobei sich das oberflächennahe Kalziumcarbonat mehr oder weniger vollständig in Kalziumsulfat umgewandelt hat. Die Maßnahmen der sechziger Jahre umfassten vor allem den Auftrag von Polymeren, wie Polyvinylacetat und Polyvinylalkohol.

Polyvinylacetat wurde vornehmlich zur Verklebung von Abhebungen verwendet, wobei diese meist mit Kalk vermischt, aber auch verdünnt mit dem Pinsel aufgetragen werden konnten. Zudem wurde es Kittmörteln als zusätzliches Bindemittel beigemischt.

Polyvinylalkohol wurde dagegen mittels Sprühen in Zonen mit pulverisierter Farbschicht eingesetzt. Polymethacrylate wurden zum Schluss firnisartig aufgesprüht, um den Einfluss der Feuchtigkeit zu vermindern und eine zusätzliche Leuchtkraft der Farben zu erzielen, wobei gleichzeitig ein bestehender Weißschleiereffekt ausgeglichen bzw. reduziert werden konnte.

Diese Maßnahmen konnten über Jahrzehnte einen weit reichend stabilisierten Zustand vorhalten. Heute, nach vierzig Jahren, hat sich die Situation allerdings drastisch verändert¹³.

Neben einigen großflächigen Abhebungen sowie Blasenbildungen, die zum Teil aufgebrochen sind (Abb. 11), manifestieren sich vor allem die bereits angesprochenen kleinteiligen Mikroabhebungen, die über die gesamte Oberfläche verteilt und aus statistischer Sicht als Hauptproblem anzusehen sind (Abb. 14).

Diese Schadensphänomene sind im Zusammenhang mit Veränderungen von klimatischen Parametern als besonders problematisch anzusehen. Die touristische Nutzung führte in diesem Zusammenhang zu einer drastischen Beeinträchtigung der Feuchteparameter des Raums. Nach zwei Jahren Klima-

¹³ Siehe Martin LEHMANN, Langfristige Schädigung von Wandmalerei durch die Wirkung eingebrachter Kunststoffe. Am Beispiel der Gewölbmalereien in der Krypta der Quedlinburger Stiftskirche St. Servatius, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 18, 2004, S. 71–92.

¹⁴ Entwicklung durch Martin Lehmann im Rahmen seiner Diplomarbeit: Die Gewölbmalereien in der Krypta der Stiftskirche St. Servatius in Quedlinburg. Erstellung eines Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes. Möglichkeiten der Reduzierung von Kunststoffen aus porösen mineralischen Gefügen. HfBK Dresden 2003/2004 (Veröffentlichung geplant).

messungen und der Bewertung der Schadensphänomene musste die Krypta für die Öffentlichkeit geschlossen werden, trotz der Proteste von Tourismuseinrichtungen und Gläubigen, die die Krypta zu besonderen Festlichkeiten (Osternacht mit Kerzenprozession) nutzen wollten (Abb. 10a-b).

Abgesehen davon wurden Faktoren, die einen schnellen Austausch von Luft ermöglichten, begrenzt. So wurden sämtliche Öffnungen wie Fenster und Türen abgedichtet. Damit kann man heute von einem stabilen Klima in der Krypta sprechen, das insbesondere große Veränderungen der relativen Feuchte, aber auch Schädigungen in Folge mikrobiellen Befalls (etwa in Kondensatbereichen) weitgehend ausschließen lässt.

Zur Aufklärung der Öffentlichkeit über die laufenden Konservierungsmaßnahmen, im Besonderen aber zur Rechtfertigung der momentanen Schließung, wurde eine Präsentation der Malereien der Krypta in Form einer Website und von vierzehn großflächigen Postern vor Ort erarbeitet (Abb. 9).

In einer dreijährigen Untersuchungsphase konnten wesentliche Grundlagen zur Erstellung eines Maßnahmenkonzepts erarbeitet werden. Das Hauptaugenmerk der Arbeiten im Sinne einer „konservierenden Restaurierung“ wurde auf die Möglichkeiten der Kunststoffextraktion und der Behandlung der Vergipsung mit einer damit verbundenen Festigung der Malschicht gelegt.

Im Rahmen von Diplom- und Seminararbeiten an der HfBK Dresden, unter Einbeziehung von Erfahrungen aus dem Ausland, die über Konsultationen unterschiedlicher internationaler Institute gewährleistet werden konnten, wurden die Bedingungen der Alterung der Kunstharze in Zusammenhang mit der Vergipsung erforscht und adäquate Maßnahmen vorgeschlagen.



Abb. 10a. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta: Schließung des Zugangs.



Abb. 10b. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius: geschlossener Zugang zur Krypta.

In einer zweijährigen Experimentierphase unter naturwissenschaftlicher Verifizierung der jeweiligen Ergebnisse konnte schließlich eine objektspezifische Anwendungsmethodik entwickelt werden.

Als entscheidenden Fortschritt ist eine neu entwickelte Technik der Extraktion von Kunststoffen zu nennen, die die Anwendung von Lösemittelkompressen zusammen mit einem Unterdruckverfahren vorsieht. Die positiven Ergebnisse dieser Technik zeigen sich nicht nur in einer weitgehend möglichen Extraktion der Kunstharze, die im übrigen zu einer wesentlichen Erhöhung des Wasseraufnahmekoeffizienten führt, sondern auch in einer Re-adhäsion der oberflächlichen Schichten an den Untergrund durch die Wirkungsweise der dafür entwickelten Vakuumanwendung¹⁴ (Abb. 12, 13).

Nach dieser Reduktion der gealterten Kunstharze erwies sich eine Behandlung der Vergipsung in folgenden Arbeitsschritten als angebracht:

Nach einer Vorfestigung mit Bariumhydroxid wurde eine Reinigung bzw. Entgipsung mit anionischen Ionenaustauscharzen vorgenommen. Diese Arbeitsschritte wurden mehrfach wiederholt und schließlich mit einer Schlussfestigung mit Bariumhydroxid abgeschlossen.

Diese Methode ermöglichte nicht nur, die negativen Einflüsse der Polymere auf die Porosität zu beseitigen, sondern bewirkte auch eine ausreichende Adhäsion und Kohäsion in Bereichen mit Malschichtablösungen (Mikroabhebungen) und Dekohäsion. Die Vergipsung wurde, soweit durch entsprechende Analysen nachgewiesen, vollkommen entfernt bzw. durch den Ionenaustausch im Porensystem zu Kalziumcarbonat umgewandelt. Zusätzliches Bariumcarbonat ist als weiteres Festigungsmedium wirksam.

Als weiterer positiver Effekt ermöglichte diese Behandlung eine zusätzliche Reinigung der Oberfläche, die zu einer verbesserten Lesbarkeit der stark reduzierten Malerei führte. Nach Ausführung einer Musterachse, konnte im Jahr 2004 bereits ein Drittel der gesamten Oberfläche von einer aus freiberuflichen Restauratoren und Studenten zusammengesetzten Gruppe unter Leitung der HfBK Dresden erfolgreich bearbeitet werden.

Die Ergebnisse der bisherigen Studien und Maßnahmen wurden im März 2005 vor Ort im Rahmen eines internationalen Kolloquiums vorgestellt. Eine Weiterführung der Maßnahmen



Abb. 11. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta: Sich ablösender Feinputz mit spannungsreicher Kunststoffbeschichtung.

in der vorgestellten Weise fand bei den zahlreich erschienenen Kollegen aus dem In- und Ausland breite Unterstützung und soll in den nächsten drei Jahren abgeschlossen werden.

Die Deckenmalerei der Quedlinburger Krypta wird im Rahmen dieser Maßnahmen einen gravierenden Eingriff erfahren, der nicht als Minimalintervention bezeichnet werden kann – allerdings wird eine wesentliche, nachweisbare Verbesserung erzielt, indem wieder stabile Zustände geschaffen werden, die sich den ursprünglichen Ausgangsbedingungen annähern. Solange die Umgebungsbedingungen unter Kontrolle gehalten werden und eine regelmäßige Pflege garantiert ist, wird damit die Krypta der St. Servatius-Kirche wieder guten Gewissens für die Öffentlichkeit geöffnet werden können.

Die erzielten Ergebnisse sind das Resultat langjähriger Forschungen und Erfahrungen auf internationaler Ebene¹⁵, wobei unterschiedliche Methoden und Technologien vereint wurden, aber auch das Produkt intensiver Zusammenarbeit von jungen wie erfahrenen Kräften der HfBK Dresden unter der Verantwortung des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt und mit der finanziellen Unterstützung des Landes Sachsen-Anhalt. Besonders sei hier auf das Engagement der Studenten in ihrer abschließenden Studienphase hingewiesen, deren qualifizierte Einbindung in die Projekt- und Forschungsarbeit ungeahnte Ressourcen aufgezeigt und zu herausragenden Resultaten geführt hat.

Epilog

Die Konservierung von Kulturgut ist ihrem Wesen nach als Erhaltung der Materie anzusehen. Entscheidungen im Spannungsfeld zwischen Restaurierung und Konservierung sind unter besonderen Kriterien zu betrachten, wobei das Konzept des minimalen Eingriffs immer absolute Priorität hat. Somit sind zunächst alle Eingriffe im Sinne einer präventiven Konservierung durchzuführen. Dazu kann die Überdeckung einer Wandmalerei oder die Schließung eines gefährdeten Ambientes für Besucher gehören, die etwa mit der Maßnahme des „reburials“ in der Archäologie gleichzusetzen wären.

¹⁵ Insbesondere die Forschungen in Florenz seit den späten 1960er Jahren mit Enzo Ferroni, Mauro Matteini, Arcangelo Moles als führenden Naturwissenschaftlern im Bereich der Konservierung und den verantwortlichen Restauratoren, wie Dino Dini, Sabino Giovanoni, Guido Botticelli u.a. sind hier zu nennen.

In Hinblick auf die Erhaltung der physischen Materie des Objekts ist eine Schließung sicherlich als minimaler Eingriff am Objekt zu bewerten. Aus Sicht der Öffentlichkeit – des Betrachters – bedeutet dieser Eingriff allerdings den Verlust der direkten Rezeption des Kunstwerks und somit den Verlust seiner aktuellen ästhetischen Wirklichkeit.

Die Erlebbarkeit eines Kunstwerks ist aber als vitales Element (Qualität) anzuerkennen und der Verlust der Erlebbarkeit – auch der temporären – als nicht erstrebenswert anzusehen. Allerdings ist dabei die Priorität seiner physischen Erhaltung nicht aus den Augen zu verlieren, da jeder Verlust von physischer Materie nicht nur temporär, sondern absolut zu sehen ist.

Damit steht der Erhalt der Materie als absolute Priorität außer Diskussion, allerdings ohne die Restaurierung – im Sinne des Wiederherstellens einer besseren Situation (ob ästhetisch oder physisch), soweit sie im Kontext der konservierenden Restaurierung steht – auszuschließen oder gar zu verdammen.

Präventive Konzepte der Konservierung haben in den letzten Jahrzehnten in Deutschland immer häufiger zu einer Politik des Nichteingriffs geführt. Die Lehre, die aus einer kritischen Sicht der Restaurierungsgeschichte gezogen wurde, führte zu einer nachvollziehbaren Ablehnung einer Haltung, die in immer kürzeren Abständen Objekte im Sinne der jeweils aktuellen Vorstellung restaurierte und dabei auf den neuesten Stand der Technik bzw. Denkmalpflegeauffassung (beeinflusst von Zeitgeist und lokaler Interpretation) zu bringen suchte.

Die Sicht auf die Fehler der Vergangenheit führte letztlich zu einer verständlichen Zurückhaltung gegenüber jeglichen restauratorischer Maßnahmen, die über präventive Konzepte hinausführten.

Diese Lehre aus der Geschichte der Konservierung und Restaurierung ist sicherlich als wichtige Errungenschaft unserer Disziplin zu werten. Pflegekonzepte und präventive Schutzmaßnahmen sind dabei wichtige Teilschritte für eine nachhaltige Konservierung. Überlagern sich, wie im Falle der Quedlinburger Deckenmalereien, komplexe Schadensprozesse, die sich in der Summe als nicht beherrschbar (im Sinne einer Pflege) erweisen, dürfte kein Weg an einer konsequenten Entrestaurierung vorbeiführen. Erst mit einer neu geschaffenen Grundlage ist hier eine Ausgangssituation für ein nachhaltiges Pflegekonzept gegeben.

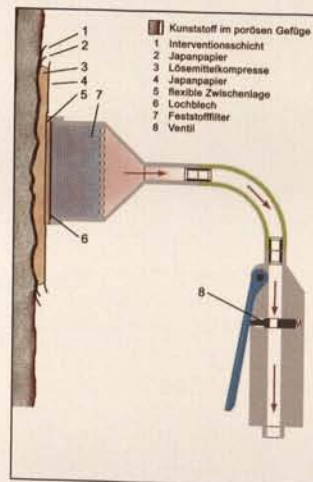


Abb. 12a-b. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Wandmalerei: Extraktion der Kunststoffbeschichtung durch Vakuumbehandlung (nach M. Lehmann).

Summary

Protective Cladding and Climate Regulation for Preventive Conservation of Wall Paintings Affected by Prior Polymer Treatments.

Case Studies from Saxony-Anhalt

The German history of wall painting's conservation is reflected in a representative way by the rich medieval patrimony of Saxony-Anhalt. Their appearance is heavily determined by the methods and materials used at the time of their encasing, which today need a critical evaluation. As a part of the history of the object these interventions are respected and deserve to be preserved. Fundamental theoretical and practical approaches have been developed by curators, conservators and restorers collaborating with the industry, natural scientists and international partners during the twentieth century. Today the problem and the need to restore the restorations of the past is perceived also in a dramatic way. Immediately after the German reunification the elevated number of wall paintings treated with synthetic resins in Saxony-Anhalt haven't been perceived yet as a problem. Today the lability of their state of conservation is becoming not only a financial but also a technical problem. Concepts and strategies of preventive conservation, as the reduction of polymer films and the stabilisation of the climate, were elaborated on various worksites in the last five years. Among these, the conservation works on the paintings in the crypt of the monastery church in Quedlinburg, Saxony-Anhalt, are presented as a pilot project.

Anhang

Fach- und Diplomarbeiten zu Wandmalereien des 13. bis 20. Jahrhunderts (1998–2005)

Thorsten ARNOLD, Der spätgotische Wandmalereizyklus in der Stadtkirche zu „Unser Lieben Frauen“ zu Kemberg/Sachsen-Anhalt. FH Köln 1998 (Erstprüfer: Prof. Dr. Karl Ludwig Dasser, Zweitprüfer: Helfried Weidner).

Stephanie FISCHER, Dorfkirche Flemmingen (Naumburg). Konservierungs-/Restaurierungskonzept für die Wandmalereien in Apsis und Chor. FH Potsdam 1999 (Erstprüfer: Prof. Werner Koch, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl).

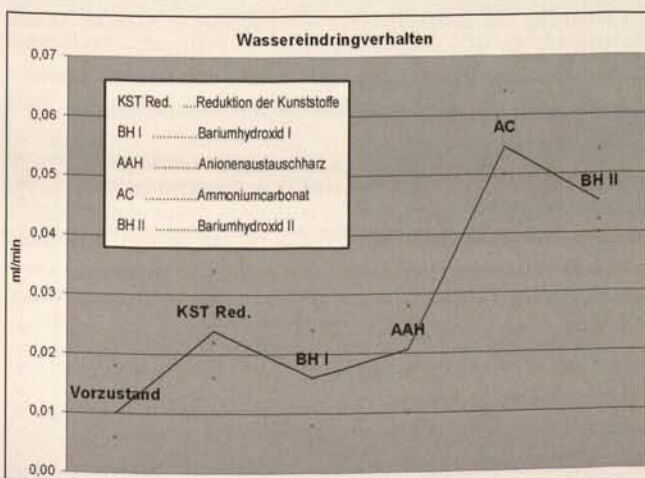


Abb. 13. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Wandmalerei: Veränderung der Wasseraufnahme entsprechend der Arbeitsschritte zur Extraktion der Kunststoffbeschichtung.



Abb. 14. Quedlinburg, Stiftskirche St. Servatius, Krypta, Wandmalerei: Mikroschollen als Hauptschadensphänomen.

Jutta HANSCH, Die mittelalterlichen Wandmalereien und nachmittelalterlichen Architekturoberflächen in der Kirche St. Andreas in Burgsdorf/Mansfelder Land. Befundicherung, Bestands- und Schadenserhebung. HAWK Hildesheim, WS 1999/2000.

Jutta HANSCH, Die Wandmalereien der Andreaskirche zu Burgsdorf. Entwicklung eines Konservierungskonzeptes unter besonderer Berücksichtigung der Reduzierung des Stärkeleimüberzuges. HAWK Hildesheim 2000 (Erstprüfer: Prof. Dr. Ivo Hammer, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl).

Angelika MÜLLER, Wandmalerei mit plastischer Gestaltung. Stuckapplikationen des Mittelalters. Materialien und Technologie von Putz- und Stuckauftrag am Beispiel der Stuckapplikationen im Querhaus der Liebfrauenkirche in Halberstadt und die Darstellung mit thronender Zentralfigur über dem Eingang zur Krypta der Stiftskirche Quedlinburg in Sachsen-Anhalt. FH Potsdam, WS 1999/2000.

Angelika MÜLLER, Das Bogenfeld an der Außenfassade über dem Südostportal der Liebfrauenkirche Halberstadt – eine mittelalterliche Wandmalerei mit Stuckapplikationen. Technologische Untersuchungen zu Putz- und Stuckapplikationen und zur Malschicht. Erarbeitung eines Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes. FH Potsdam 2000 (Erstprüfer: Prof. Werner Koch, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl).

Ralph SPIES, Die Wandmalereien auf Betonwerkstein in der Stadtkirche St. Jakobi zu Wanzleben. Beitrag zur Klärung der spezifischen Schadensphänomene. HAWK Hildesheim 2000 (Erstprüfer: Prof. Jan Schubert, Zweitprüfer: Dipl. phys. Michael Leck)

Diana WALTHER, Die Wandmalereien von 1902 der romanischen Dorfkirche St. Elisabeth in Zeddenick bei Magdeburg. Bau- und Restaurierungsgeschichte mit kunstgeschichtlicher Einordnung der Kirche und ihrer Wandmalereien. Facharbeit HAWK Hildesheim, SS 2000.

Diana WALTHER, Die Wandmalerei von 1902 in der romanischen Kirche St. Elisabeth in Zeddenick. Beiträge zu einem Konservierungskonzept. HAWK Hildesheim 2001 (Erstprüfer: Prof. Dr. Ivo Hammer, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl).

Anke HÖCHEL, Die Gewölbemalereien im Kreuzgang der ehemaligen Klosteranlage Schulpforta. Erarbeitung eines Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes. FH Potsdam 2001 (Erstprüfer: Prof. Werner Koch, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl)

Silvia LENZNER, Grotteskenmalereien im Schloss Hessen am Fallstein. Sulfatbildung an Wandmalerei. HfBK Dresden 2001 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Dr. Hans-Peter Schramm, Praxisbetreuer: Dr. Thomas Danzl).

Susanne FUCHS, Befundicherung und Konservierungskonzept für eine Wandmalerei im Kreuzgang des Domes von Halberstadt. Ein Beitrag zur Erhaltung von Malereien auf Gipsputz. HAWK Hildesheim 2003 (Erstprüfer: Prof. Dr. Ivo Hammer, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl).

Martin LEHMANN, Langfristige Schädigung von Wandmalerei durch die Wirkung eingebrachter Kunststoffe. Am Beispiel der Gewölbemalereien in der Krypta der Quedlinburger Stiftskirche St. Servatius HfBK Dresden 2003/2004 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Dr. Elisabeth Jägers).

Martin LEHMANN, Die Gewölbemalereien in der Krypta der Stiftskirche St. Servatius in Quedlinburg. Erstellung eines Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes. Möglichkeiten der Reduzierung von Kunststoffen aus porösen mineralischen Gefügen. HfBK Dresden 2003/2004 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Dr. Christoph Herm, Praxisbetreuer: Dr. Thomas Danzl).

Anja ROMANOWSKI, Die Schlosskapelle zu Wolmirstedt. Untersuchung, Dokumentation und Konservierung der spätgotischen Malereien. Untersuchung der Gestaltungssysteme des Innenraumes: Wandmalerei, Architekturfarbigkeit und Oberflächenstrukturen. HfBK Dresden 2004 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Dr. Wolfgang Rother).

Susann WILHELM, Die grünmonochrome Rankenmalerei im Merseburger Kapitelhaus. Untersuchungen zum maltechnischen Aufbau und zur Geschichte unter Betrachtung von Vergleichsbeispielen. Seminararbeit HfBK Dresden 2004 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Roland Möller).

Henry EWERT, Untersuchungen zur Maltechnik der romanischen Gewölbemalereien in der Stiftskirche zu Quedlinburg, HfBK Dresden 2004 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Dr. Christoph Herm).

Henry EWERT, Das Vierpassfeld am Eingangsportal des Westlettners im Dom St. Peter und Paul in Naumburg. Erstellung eines Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes (praktische Arbeit). Untersuchungen zur Substanz und Technik des Vierpassfeldes sowie von vier Fragmenten vom Westlettners des Naumburger Domes (theoretische Arbeit). HfBK Dresden 2005 (Referent: Prof. Heinz Leitner, Co-Referent: Prof. Dr. Christoph Herm, Praxisbetreuer: Dipl. Rest. Arnulf Däne).

Damaris VENZLAFF, Die Wandmalereien der Apsis der Pfarrkirche St. Georg zu Gimritz von Karl Völker 1926. Befundicherung im Kontext der Raumausstattung, Notsicherung und Entwicklung eines Konzepts zur nachhaltigen Konservierung. HAWK Hildesheim 2005 (Erstprüfer: Prof. Dr. Ivo Hammer, Zweitprüfer: Dr. Thomas Danzl).

Literaturverzeichnis zur Wandmalerei in Sachsen-Anhalt 1979–2005

Heinrich L. NICKEL, Mittelalterliche Wandmalerei in der DDR, Leipzig 1979.

Restaurierte Bildwerke in der DDR (Katalog der Ausstellung, Altes Museum, Staatliches Museum zu Berlin, April–Juni 1980) Leipzig 1979, S. 223–237.

Heinrich L. NICKEL (Hrsg.), Wandmalerei des Hochfeudalismus im europäisch-byzantinischen Spannungsfeld (12. und 13. Jahrhundert), Protokoll des Kolloquiums mit internationaler Beteiligung 24.–27.3.1981 in Halle (Schriftenreihe der Arbeitsgruppe für byzantinische und osteuropäische Kunst des Mittelalters der Sektion Orient- und Altertumswissenschaften, 2), Halle (Saale) 1983.

Hannelore SACHS, Zwei Putzritzzeichnungen des 13. Jahrhunderts, in: Friedrich MÖBIUS - Ernst SCHUBERT (Hrsg.), Skulptur des Mittelalters. Funktion und Gestalt, Weimar 1987, S. 109–120.

Johann-Christian KLAMT, Zur Datierung der Putzritzungen im Magdeburger Domkreuzgang, in: Ernst ULLMANN (Hrsg.), Der Magdeburger Dom, ottonische Gründung und staufischer Neubau (Symposium vom 7.–11. Oktober 1986 in Magdeburg), Leipzig 1989, S. 124–131.

Roland MÖLLER, Steinstrukturbilder und Steingefügebilder als Gestaltungsmittel in hochmittelalterlichen Ausmalungen Sachsen-Anhalts, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 4, 1996, S. 33–43.

Heinrich L. NICKEL, Die Wandmalerei in der Thomaskirche zu Pretzien bei Magdeburg, in: Sachsen und Anhalt, Jahrbuch der Historischen Kommission für Sachsen-Anhalt, Bd. 19, Weimar 1997, S. 327–388.

Denise STEGER, Bilder für Gott und die Welt. Fassadenmalerei an Kirchengebäuden in Deutschland vom Ende des 12. bis zum Anfang des 16. Jahrhunderts (Bonner Beiträge zur Kunstwissenschaft Bd. 13), Köln 1998.

Thomas DANZL, Restaurierungsarbeiten in der Halberstädter Liebfrauenkirche – ein Zwischenbericht, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 8, 2000, S. 84–86.

Thomas DANZL, Aktuelle Tendenzen in der Praxis der Restaurierung von Architekturoberflächen und Wandmalerei, in: Erstes Deutsch-Tschechisches Kolloquium für Denkmalpfleger und Restauratoren, Kloster Marienthal, 21.–26. März 2000 (Tagungsbericht Ms. masch.: DBU, Osnabrück/Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege Probstei Johannesberg, Fulda e.V./Hochschule für Konservierung- und Restaurierungstechnik Litomysl).

Thomas GRÖLL, Putz/Mörtel. Die Putzritzungen des Magdeburger Doms, in: Umwelt – Kultur – Schutz. Innovationen zur Erhaltung des Kulturerbes im Osten Deutschlands, Osnabrück-Leipzig 2001, S. 81–97.

Jutta HANSCH, Spätromanische Wandmalereien der Kirche in Burgsdorf konserviert, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 11, 2002, S. 173–176.

Roland MÖLLER, Historische Restaurierungen von Raumfassungen und Wandmalereien des Mittelalters im Mitteldeutschen Raum – aktuelle Untersuchungen, in: Matthias EXNER und Ursula SCHÄDLER-SAUB (Hrsg.), Die Restaurierung der Restaurierung? Zum Umgang mit Wandmalereien und Architekturfassungen des Mittelalters im 19. und 20. Jahrhundert (ICOMOS Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXXVII), München 2002, S. 175–190.

Thomas DANZL, Zum Stand der Konservierung von Wandmalerei und Architekturoberflächen in Sachsen-Anhalt, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 11, 2003, S. 46–49.

Thomas DANZL, Konservierung von Architekturoberfläche und Wandmalerei in der Denkmalpflege. 75 Jahre materialtechnische Grundlagenforschung in Sachsen-Anhalt, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 11, 2003, S. 100–120 (veröffentlicht auch als CD-ROM mit ausführlicheren Fußnoten und reicherem Bildteil: Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt (Hrsg.), 75 Jahre Restaurierung in der staatlichen Denkmalpflege. Fachtagung zum 75-jährigen Bestehen der Restaurierungswerkstatt am Landesamt für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt, Halle am 26. Oktober 2002, Halle 2004).

Elisabeth RÜBER-SCHÜTTE, Eine Marienkrönung in der Krypta der Quedlinburger Wipertikirche, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 11, 2003, S. 149–154.

Martin LEHMANN, Langfristige Schädigung von Wandmalerei durch die Wirkung eingebrachter Kunststoffe. Am Beispiel der Gewölbemalereien in der Krypta der Quedlinburger Stiftskirche St. Servatius, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 18, 2004, S. 71–92.

Thomas DANZL, Elisabeth RÜBER-SCHÜTTE, Stuck und Wandmalerei des Hohen Mittelalters in Sachsen-Anhalt (Vortrag Seminar "Wandmalerei des Hohen Mittelalters", 28.2.–2.3. 2005, HfBK Dresden, masch. Manuskript).

Thomas DANZL, Elisabeth RÜBER-SCHÜTTE, Zur Erfassung, Inspektion und Erhaltung von mittelalterlicher Wandmalerei in Sachsen-Anhalt. Das Beispiel der Wandmalereifragmente im Chorgeviert der Unterkirche St. Nikolai zu Burg und in der Dorfkirche (ehem. St. Constantius) zu Buch, in: Denkmalpflege in Sachsen-Anhalt 13, 2005 (im Druck).

Thomas DANZL, Heinz LEITNER, La conservazione delle pitture murali Oltralpe. Difficili esperienze ed eredità dal passato come sfida per la prassi del ventunesimo secolo: il ri-restauro inteso come "minimo intervento", in: Guido BISCONTIN - Guido DRUISSI (Hrsg.), Sulle pitture murali. Riflessioni, conoscenze, interventi (XXI convegno internazionale scienza e beni culturali, Brixen 2005), Venedig 2005 (im Druck).

Abbildungsnachweis

Abb. 1–11, 14: Hochschule für Bildende Künste, Dresden; Abb. 12–13: Martin Lehmann, Hochschule für Bildende Künste, Dresden.

Nutzung und Substanzerhalt.

Fallbeispiele aus der praktischen Baudenkmalpflege

Die restauratorische Konzeptfindung im Bereich der Instandhaltung von Bauwerken wird wesentlich bestimmt durch die Anforderungen aus der Nutzung. So sind neben den Erfordernissen der konstruktiven Instandsetzung und Stabilisierung von Oberflächen, für die Einbindung der Nutzerwünsche architektonische und haustechnische Interventionen notwendig und in der Arbeit zu berücksichtigen. Die im Folgenden vorgestellten Instandsetzungs- und Restaurierungsprojekte haben gemeinsam, dass ausführliche Voruntersuchungen stattfanden und eine intensive, interdisziplinäre Zusammenarbeit unter den beteiligten Sonderfachleuten gepflegt wurde. Grundlage der Reparatur- und Konservierungsmaßnahmen war die Entwicklung geeigneter Konzepte für die Durchführung der Maßnahmen und die Gewährleistung einer dynamisch geführten Untersuchung bzw. Erfassung über den gesamten Zeitraum von Planung und Instandsetzung hinweg. Vorgeführt werden Projekte mit einer Instandsetzung hin zu unterschiedlichen Nutzungszielen: a) Geschäfts- und Büronutzung, b) zeitweiser, öffentlicher Nutzung, c) öffentlicher Museumsnutzung und d) Wohnnutzung.

Bestandteile der systematischen Gesamterfassung waren die Erschließung der vorhandenen Schrift- und Bildquellen (über das Quellenstudium konnten Hintergründe zur Erstellung des Denkmals, z.T. auch die angewandten Technologien, verwendete Materialien oder aber Schadensprozesse innerhalb der Nutzungsgeschichte erschlossen werden), eine Erfassung mit Hilfe abbildender Methoden (Fotografie, Darstellung geometrischer Größen und räumlicher Struktur), eine Aufnahme der künstlerischen, technischen und konstruktiven Details sowie die Darstellung von Einzelbefunden und eine Dokumentation von Schadensbildern (Abb. 1). Ergänzung fanden die Untersuchungen durch die Beteiligung von Sonderfachleuten (Bauphysik, Material- und Schadstoffanalytik).

Die Objekte waren bis zu ihrer Sanierung in Teilbereichen noch bewohnt oder aber unbewohnt und mit veralteter Haustechnik ausgestattet. Bei allen Objekten galt es, im Zuge der Maßnahme keinen bestimmten Zeithorizont herauszuschälen und diesen

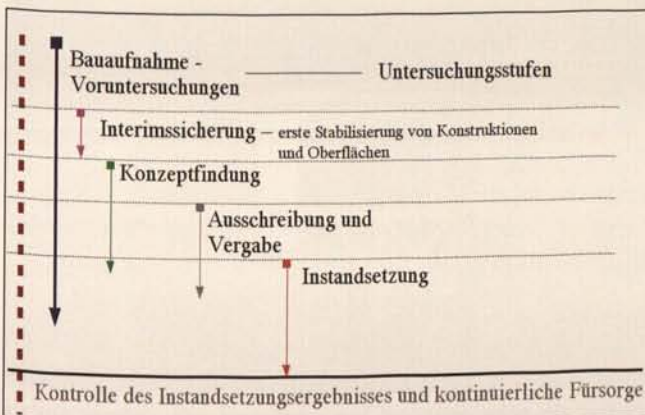


Abb. 1. Schematische Darstellung des Prozessablaufs für die hier vorgestellten Maßnahmen.

dann nach der Restaurierung in großem Umfang zu präsentieren, sondern eine Stabilisierung des gewachsenen Zustandes zu erreichen, um der Nutzung Oberflächen für den Gebrauch und für eine möglichst lang anhaltende Stabilität bereitzustellen.

a) Nürnberg, Johannisstraße 19, Sommerpalais

Die Parzellenanlagen der Johannisstraße, im Nordwesten der ehemaligen Reichsstadt Nürnberg, waren Bestandteil des Grüngürtels der Stadt und entwickelten sich aus im Mittelalter angelegten Obst- und Gemüsegärten hin zu Haus- und Wochenendgärten für reiche Kaufmannsfamilien und ratsfähige Geschlechter (sog. Hesperidengärten). Mit der seit dem 17. Jahrhundert sich verbreitenden Sammlung mediterraner Pflanzen wie Zitronen- und Orangenbäumchen sowie der Ausprägung des *stile nuovo* in den architektonischen Formen wird das Gebäude zu einem der bedeutendsten Zeugnisse barocker Gartenkultur der Stadt. Während Renovierungen und Umgestaltungen gegen Ende des 17. Jahrhunderts, noch bestimmt waren durch die Einrichtung von Holzfachwerkwänden, Balken-Bohlen-Decken sowie einer getäfelten Stube und deren farbigen Fassungen, führt ein groß angelegter Umbau des später geadelten Kaufmanns Johann Friedrich Sichart 1727 zur Vervollständigung der Dreiflügelanlage und dem Aufbau eines Zwerchhauses mit Gartensaal im Dachgeschoss des Vordergebäudes (Abb. 2, 6). Die Fassaden wurden vollflächig verputzt und mit Grisaillemalereien auf ockerfarbenem Grundton belegt (Abb. 3), die Innenräume meist mit monochrom gefassten Stuckdecken im Régencestil ausgestattet. Die Wandflächen erhielten Besspannungen (erwähnenswert sind die Bestände der punzierten und mit Silber und Goldlack belegten Ledertapeten im großen Saal des Obergeschosses), bemalte Holzlambrien und repräsentative Türblätter (Abb. 5, 8). Zugehörig war die Gestaltung eines formalen barocken Gartens, dessen Auflösung hin zu einer englischen Gartenlösung im 19. Jahrhundert 1873/74 die Einrichtung einer Zinnwarenfabrik und 1877 die Belegung des Dachgeschosses durch eine Wohnung folgten.

Im Rahmen der Instandsetzung 1997–1999 galt es, für eine künftige Nutzung als Büro- und Geschäftsgebäude die erhaltenen Bestände der barocken Ausstattung zu bewahren und, soweit erforderlich, durch schützende Überformungen zu überdecken (Abb. 8).

Auf Wunsch des Eigentümers erfolgte die Anbindung an ein vorhandenes Fernwärmenetz und der Einbau von Radiatorheizkörpern. Im tapezierten Saalraum des Obergeschosses wurde für die dicht befensterte Nordwand der Einbau eines langrechteckigen Heizkörpers mit Plattenabdeckung gewählt (Abb. 8), für das hoch wertvolle Dachgeschoß mit seiner reichen Ausstattung eine Beschränkung auf Sommernutzung unter Verzicht auf Beheizbarkeit erreicht.

Eine kontinuierliche, restauratorische Betreuung des Gebäudes ist seit der Sanierung nicht gegeben (Abb. 6). Neben



Abb. 2. Nürnberg, Johannisstraße 19, Südfassade vor der Instandsetzung (1997).

statisch bedingten Rissbildern in Einzelfällen fallen heute schwindbedingte Risssschäden an der hölzernen Ausstattung auf (Abb. 25). Ein kontrollierter Betrieb der Einzelheizkörper in Kombination mit geregelter Befeuchtung in der Winterzeit wäre hier anzustreben.

b) Vilseck, Landkreis Amberg-Sulzbach, Burg Vilseck, Wandmalereien im Bergfrieds

Eine Archivalienforschung aus dem Jahre 1992 belegt eine heute abgebrochene, unmittelbar an den Bergfried angeordnete Burgkapelle. Der rundbogige Zugang befand sich im Obergeschoss des Bergfrieds und wurde im 14. Jahrhundert mit figürlichen Malereien in Kaseintechnik versehen (Abb. 9–11). Die Darstellungen auf weißem Kalkgrund zeigen in der unteren Fläche bis zum Bogenkämpfer einen Stoffbehang mit Ringbefestigung auf Stange, begleitet von Akanthusblättern und herauswachsenden, belaubten Zweigmotiven. Die Leibungsfläche des Bogens weist eine gurtbogenartige Abfassung in roter Farbe auf. Innerhalb der nördlichen Leibungsfläche befindet sich eine Darstellung des Hl. Georg mit Drachen (Abb. 11), gegenüberliegend eine des Erzengels Michael (Abb. 9). Der Bogen wird in einer ersten Umphase vom offenen Durchgang zu einer kapellenseitigen Nische zugesetzt (noch vor 1730). Von Seiten der Kapelle wird diese Nische dann ausgemalt und mit dem Neubau der heute abgebrochenen Kapelle 1730 vollständig zur glatten Wandfläche geschlossen.

2001 wurde ein Großteil der Bogenvermauerung im ersten Obergeschoss des Bergfrieds herausgelöst, um wieder einen Durchgang einzurichten (Abb. 10). Hierbei ist das von Seiten der ehemaligen Kapelle angetragene Wandbild „derart zerstört worden, dass der bildtragende Putz – nun ohne Halt durch das Mauerwerk der Zusetzung – in sich zusammenstürzte“ (Dipl.-Restaurator S. Oehmig, 2001) und die mittelalterlichen Malereien an der Leibungsfläche freigelegt hat. Diese Malereien waren seither den klimatischen Bedingungen des Raumes ausgesetzt. Die mit der Erfassung des Malereibestandes und dessen Zustand befassten Untersuchungen von 2002–2003 u.a. zu den Themenbereichen der Versalzung, eines mikrobiologischen Befalls und der Möglichkeit zur Konsolidierung, stellten eine erhebliche Belastung mit hygrokopischen Salzen, insbesondere Natriumchlorid und Natriumnitrat fest. Ein Teil der Oberflächen ist mit aktiven Schimmelpilzen besetzt. Die Klimamessungen in diesem Zeitraum ergaben in der zusammenfassenden Auswertung, dass sich, bedingt durch die hohe Speichermasse des Bergfrieds, eine erhebliche Dämpfung der Außenlufttemperaturschwankungen zeigt. Frosttemperaturen innen wurden erst bei lang anhaltenden, extremen Minuswerten der Außenluft erreicht. Bei vergleichender Betrachtung des Luftfeuchteverlaufs von Außen und Innen ergibt sich eine relativ gute, trendhafte Übereinstimmung. Dabei werden die äußeren Luftfeuchteschwankungen wiederum im Raum erheblich gedämpft. Die Luftfeuchte der Nische ist gegenüber der des Raumes nahezu ständig geringer. Trotz der verlangsamten Schwankungen kommt es, gerade in Anbetracht der vorherrschenden Belastungen, zu ungünstigen Extremwerten der Jahreszeiten. In der Diskussion mit allen Beteiligten entschloss man sich, neben den akut erforderlichen Konservierungsmaßnahmen vertiefende Interventionen zunächst auszusetzen und das Ziel der Schaffung eines stabilen Klimakorridors im Bereich der Malereien zu verfolgen. Das Innere des Bergfrieds ist heute baulich über mehrere Geschosse und Anbauten miteinander verbunden. Die Möglichkeit, eine Temperierung des ersten Obergeschosses ohne räumliche Abtrennung umzusetzen, ist nicht gegeben. Ferner sollte ungehindert eine regelmäßige Besucherführung gewährleistet bleiben. Um dennoch Kristallisationswechsel zu



Abb. 3. Nürnberg, Johannisstraße 19, Westfassade des Ostflügels. Detail: unter vollflächiger Überputzung vorgefundener Bestand der Fassadenbemalung von 1727 (Zustand 1998).



Abb. 4. Nürnberg, Johannesstraße 19, Südfassade mit West- und Ostflügel nach der Instandsetzung (2000).

vermeiden und günstige Raumluftfeuchtwerte im wandnahen Bereich zu ermöglichen, ist die Abgrenzung mittels einer vorgestellten Großvitrine an der betreffenden Wandfläche in Planung. Die bauliche Ausbildung mit nachfolgender kontinuierlicher Messung der Klimawerte und eine regelmäßige restauratorische Betreuung sollen zeitnah realisiert werden.

c) Fürth, Königstraße 89, Jüdisches Regionalmuseum

Das Gebäude entstand als Neubau 1702 durch einen der Gemeindevorsteher der Jüdischen Gemeinde Fürth, Hirsch Fromm. Die Familie war im Tuchhandel tätig und fungierte u.a. als Geldgeber für den Schlossbau des Württembergischen Hofes. Das zweigeschossige Gebäude mit steinerner Vorderfront sowie Rückfassade und Innenwänden in Fachwerk beherbergt im Innern noch Deckenstuckierungen und hölzerne Ausstattung des 18. Jahrhunderts (Abb. 12, 14, 16). Einzelbefunde weisen auf eine ehemals mit Architekturmalerei versehene Steinfassade.

Für den schwer geschädigten und stark vernachlässigten Bestand brachte die Umnutzung zu musealen Zwecken die Rettung. Die Arbeiten am Jüdischen Regionalmuseum Franken in Fürth begannen 1989–1991 mit einer umfassenden Bestandserfassung. Im 19. Jahrhundert war eine Spiegelfabrikation eingerichtet worden. Die Sanierung und Konservierung des Gebäudes 1997–99 wurde daher in zwei Hauptabschnitte unterteilt, den Rückbau der stark mit Quecksilber kontaminierten Materia-

lien, Oberflächen und Bauteile und schließlich die Konservierung und Sanierung barocker Substanz wie deren Hinführung zu einer öffentlicher Nutzung als Jüdisches Regionalmuseum Franken (Abb. 12–16).

Das Gebäude wurde heizungstechnisch großteils mit einer Temperierung ausgestattet, die im Sockelbereich (Einrohr- bis Zweirohrtrassen) angeordnet und auf Betriebstemperaturen im Ausstellungsbereich bis maximal 15/18° Celsius ausgelegt ist. In Bereichen der Büro- und Werkstattnutzung ergänzen Heizkonvektoren die Anlage. Für eine Steuerung kommt moderne Regeltechnik nach aktuellem Stand der Zeit zum Einsatz. In Begehungen 2004 waren bauliche und betriebstechnische Mängel zu diagnostizieren. Neben Schäden durch statisch bedingte Veränderungen (Schwund von eingebauten Konstruktionshölzern), zeigen Farbanstriche auf mineralischer Basis an den Holzwerkteilen in Teilflächen größere Abhebungen, die hölzerne Ausstattung vielfach Rissbildung (Abb. 13).

Recherchen ergaben daraufhin, dass nach Ausfällen in den ersten Betriebsjahren, in der Regeltechnik Eingriffe vorgenommen wurden, die bis zu einer Abnahme von Antrieben der Stellventile an den einzelnen Heizleitungen geführt haben, so dass die Heizkreise seither immer vollständig geöffnet sind und eine Steuerung durch die eigentliche Regeltechnik nicht mehr erfolgt. So waren z.B. bei einer Begehung im Juni Vorlaufemperaturen von 70° Celsius festzustellen (Außentemperatur 20° Celsius!). Die kontinuierliche Überschreitung von festgelegten Raumtemperaturen mit gleichzeitiger Absenkung der Luft-



Abb. 5. Nürnberg, Johannisstraße 19, Saal im ersten Obergeschoss: bemalte Sockellambrie, Detail (1998).

▷ Abb. 7. Nürnberg, Johannisstraße 19, Ostflügel, stuckierter Raum im ersten Obergeschoss: Einbau von Radiatorheizkörpern.

▷▷ Abb. 8. Nürnberg, Johannisstraße 19, Saal im ersten Obergeschoss: Endzustand mit restaurierten Resten der ehemaligen Ledertapete, neuer Stoffbespannung, Heizkörpern mit Plattenverkleidung an der Fensterwand und schützender Überformung von Lambrie und Dielenboden (1999).

Abb. 6. Nürnberg, Johannisstraße 19, Saal im Dachgeschoss: Feuchteschäden im Bereich restaurierter Fenster (2004).



feuchten ist daher anzunehmen. Wünschenswert wäre die ständige Kontrolle der in der Instandsetzungsphase eingebauten Messfühler gewesen. Weitere Recherchen ergaben jedoch, dass nach Betriebsstörungen seit langer Zeit weder Speicherung noch Softwarefunktionen für eine Kontrolle möglich gewesen wären, Zuständigkeiten nicht geregelt waren und die Kalibrierung der Systeme unterblieb. Auch ist der Betreiber des Hauses nicht in dem Maße mit der vorhandenen Anlage vertraut gemacht worden, wie dies erforderlich gewesen wäre, um den Betrieb der technischen Anlage und die Instandhaltung zu gewährleisten. Durch ein jetzt beauftragtes Pflegekonzept der Kommune soll hier Abhilfe geschaffen werden.

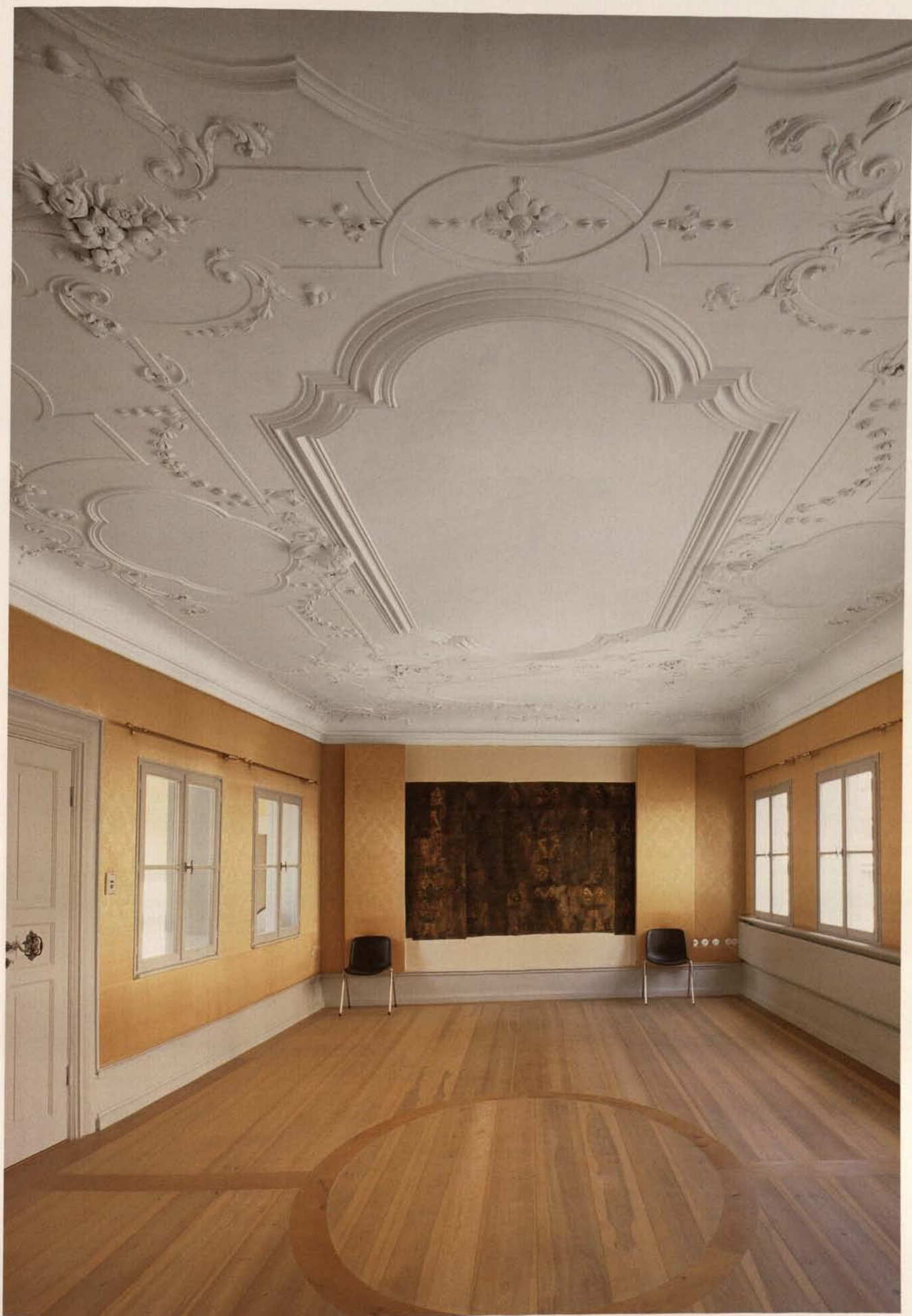
d) Kucha, Gem. Offenhausen, Landkreis Nürnberger Land, Mühlegebäude

Das Objekt wurde 1732 als Mühle nach Brand neu aufgebaut, erfuhr 1791, 1865 und 1928 Umbauten, wurde 2000 – 2002 saniert und wird seither durch eine vierköpfige Familie bewohnt (Abb. 17–24).

Der Familie stehen im Erd- und Obergeschoß insgesamt 220 m² Fläche (180 m² Wohn- und 40 m² Nutzfläche) zur Verfügung.

An den Sockelzonen des Hauses waren hohe Feuchte- und Salzschäden im Innen- und Außenbereich festzustellen, unmittelbar eindringende Feuchtigkeit war durch Hangwasser aus Niederschlägen und durch den anstehenden Mühlbach gegeben (Abb. 17). Konstruktiv erfuhr das Gebäude Verbesserungen in der Wasserableitung durch den Einbau von Nachgründungen, ferner durch den Aushub nachträglich eingebrachter Verschuttung im Mühlbach und dadurch Schaffung eines kontrollierten Wasserablaufs.





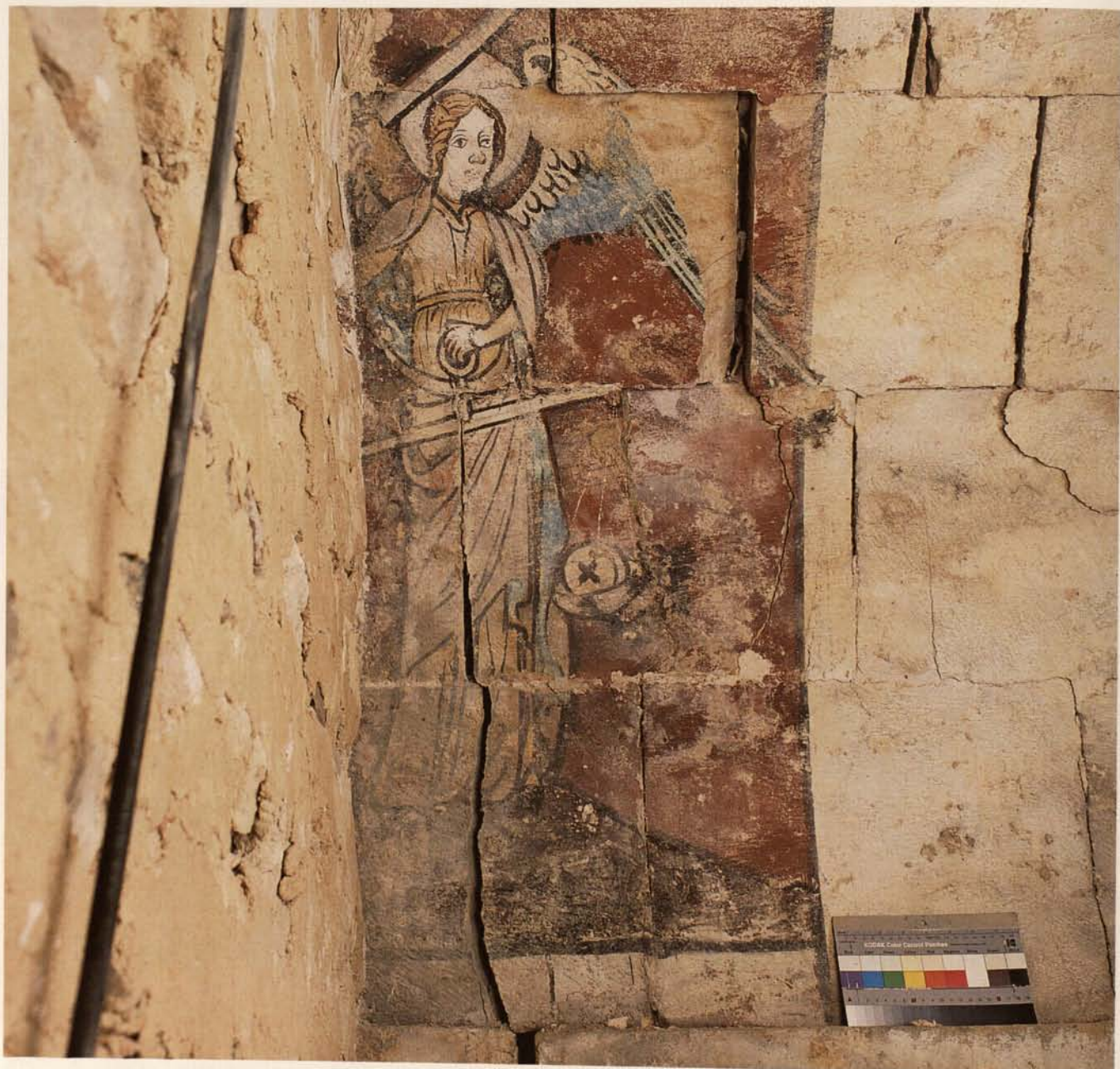


Abb. 9. Burg Vilseck, Bergfried, Obergeschoss, ehemaliger Kapellenzugang, Südleibung: Darstellung des Erzengels Michael (2003).



▷ Abb. 11. Burg Vilseck, Bergfried, Obergeschoss, ehemaliger Kapellenzugang, Nordleibung: Darstellung des Hl. Georg (2003).

Abb. 10. Burg Vilseck, Bergfried, Obergeschoss, ehemaliger Kapellenzugang an der Westwand (2003).



Bereits mit Sanierungsbeginn im Jahr 2000 bestand der Wunsch der Familie, das Gebäude mit Strahlungswärme zu beheizen und die Sockeltrockenhaltung mit einer Temperierung zu ermöglichen. Realisiert wurde die Maßnahme mit dem Einbau eines Temperiersystems, basierend auf der seit Jahren vielfach umgesetzten Bauteiltemperierung von H. Großschmidt (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege/Landesstelle für die Nichtstaatlichen Museen in Bayern, München). Unter der Berücksichtigung der Nutzflächen bestand die Aufgabe darin, ca. 900 m³ Raumvolumen mit Raumtemperaturen von mindestens 19° Celsius zu beheizen und ca. 200 m³ Raumvolumen mit einer Maßgabe von 15° Celsius zu temperieren. Das Dachgeschoss verblieb als Kaltdach.

Um von der Temperierung im musealen Bereich mit Ein- bzw. Zweirohrsystemen aus Kupfer und eingegrenzten Raumtemperaturen zu einem Heizsystem mit Wohnraumtemperaturen von 19–21° Celsius zu gelangen, wird oft angenommen, dass eine Massierung der Rohrlängen im Raum erforderlich wäre. Im vorgegebenen Fall konnte durch Erhöhung der Speichermasse einzelner Bauteile (z.B. Holzfachwerk der Außenwände im Obergeschoss) und Dämmung der Decke zum Dachgeschoss, die Rohrführung auf die Außenwände eingegrenzt werden, abgesehen von der vollständigen Einzelrohrumfahrung der Trenn- und Außenwände an der Sockelzone des Erdgeschosses. Als Grundprinzip galt es, die Verlegung auf vier Kupferrohrleitungen (zweimal Vor- und Rücklauf) in der Oberputzlage der Sockelzone bis in Höhe der Fensterbrüstung zu begrenzen, im Obergeschoss mit je einer Umweschleife des

Rücklaufs der zweiten Schleife beiderseits der Fenster (Abb. 23). Die Rohrtrassen waren in der Oberputzlage mit ca. 8–10 mm Putzüberdeckung (Kalkputz im Erdgeschoss, Lehmputz im Obergeschoss) anzubringen. Die Außenwände aus Kalkbruchsteinmauerwerk im Erdgeschoss wurden in ihrem gegebenen Aufbau belassen, auf eine Umfassung der Bauteilöffnungen aufgrund der zu erhaltenden historischen Putze verzichtet. Die Holzfachwerkwände im Obergeschoss erhielten eine Vormauerung aus Lehmsteinmauerwerk (Abb. 24). Der Einsatz des Baustoffes Lehm im Obergeschoss folgte den Vorgaben des Gebäudes im Hinblick auf den Einsatz von stark lehmhaltigen Putzen seit den Umbauten 1791 und in der Absicht, die feuchteausgleichenden Eigenschaften des hygroskopischen Baustoffs Lehm und seine Möglichkeit, die relative Raumluftfeuchte zu puffern, mit den Eigenschaften der Temperierung zu kombinieren.

Das vorgestellte Lehm-mauerwerk bot neben der Möglichkeit zur Erhöhung der Speichermasse auch die Option, die Haustechnikinstallationen an der Oberfläche aufzunehmen (Abb. 24). Die Gefahr von Schäden durch Kondensatausfall an der Grenzfläche zwischen Holzfachwerk, Gefachematerial und Vormauerung wurde durch die Verwendung geeigneter Lehmvollsteine in Kombination mit der Wärmezufuhr durch Temperierung der Bauteile ausgeschaltet. Gleichfalls erlaubte diese Kombination auch, das Schadenspotential aus Schlagregenbeanspruchungen und folgendem Feuchterückstau in den Bauteilschichten abzufangen. Voraussetzung für die einwandfreie Funktion dieses Systems ist die direkte Verbindung zwischen Vorsatzschale und Altkonstruktion, d.h. die Bildung von Hohl-



Abb. 12. Fürth, Königstraße 89, zweites Obergeschoss, stuckierter Raum vor der Instandsetzung (1989).



Abb. 13. Fürth, Königstraße 89, erstes Obergeschoss: Farbabhebungen an Holzflächen (Fachwerk und Balken-Bohlen-Decken) aufgrund nicht abgestimmter Eingriffe in die Regeltechnik des Heizsystems (2004).



Abb. 14. Fürth, Königstraße 89, zweites Obergeschoss, stuckierter Raum nach der Instandsetzung und Umnutzung zu musealen Zwecken (1999).



Fazit

Die hier vorgestellten, in ihrer Durchführung aufwendig vorbereiteten Instandsetzungsbeispiele zeigen auf, dass es bei den meisten Objekten, nach Abschluss der jeweiligen Maßnahme noch weitgehend an einer fortgeführten und dokumentierten, ganzheitlichen Instandhaltung mit Kontrolle des Instandsetzungsergebnisses und einer begleitenden kontinuierlichen Fürsorge mangelt.

Um den langfristigen Erfolg der Instandsetzung zu gewährleisten, ist zu einer regelmäßigen Wartung durch Restauratoren und Sonderfachleuten an hochsensiblen Teilbereichen oder der Beseitigung von Gewährleistungsmängeln betreut durch das beteiligte Architekturbüro, die fachgerechte Beratung der Bauherren und die Betreuung der Nutzer und Objekte in der Nutzungsphase notwendig. Zu fordern ist eine Fortschreibung der Analyse des Denkmals hin zu Instandhaltungskatalogen mit ausführlichen Ausstattungsbeschreibungen sowie Nutzungs- und Pflegehinweisen. Eine solche Aufbereitung der verfügbaren Daten in einer fachlich-technischen Darstellung, kombiniert mit Nutzungs- und Pflegehinweisen, ist von Beginn an in die Maßnahmenkonzeption und in die Förderprogramme einzugliedern und sollte künftig als Voraussetzung für eine erfolgreiche Bewirtschaftung und Pflege der Denkmäler gelten.

Abb. 15. Fürth, Königstraße 89, Ostfassade (1996).

räumen musste durch sukzessives Aufmauern und gewissenhaftes Hinterfüllen der Lehmmauerung mit magerem Lehmörtel ausgeschlossen werden. Anstelle der bis 2002 eingebauten modernen Kunststoff Fenster erhielt das Anwesen Holzfenster mit festem Setzholz in Annäherung an die vorgefundenen Befunde (Abb. 21–22).

Als Wärmequelle dient ein Holzpelletkessel. Seit der Inbetriebnahme der Anlage 2002, mit einem jährlichen Energiebedarf von ca. 20 Tonnen, ist der Bedarf nach zwei Jahren auf ca. 12 Tonnen gesunken (entsprechend 6.000 l Heizöl). Bei Kontrollmessungen war nachzuweisen, dass sich eine konstante, gleichmäßige Oberflächentemperatur an den Bauteilen (Wand, Decke, Fußboden) im Gleichlauf mit der jeweiligen Raumtemperatur eingestellt hat. Dies bestätigte sich auch bei späteren Kontrollmessungen über die gesamte Betriebszeit hinweg. Im Gebäude können seit Einbau der Heizung relative Luftfeuchten von 40–52 % im langsam gleitenden Wechsel und Raumtemperaturen in den Wohnräumen von 19° Celsius gehalten werden, auch bei extrem niedrigen Außentemperaturen. Die Vorlauftemperaturen der Anlage reichen je nach Außentemperatur von 38–60° Celsius. Die Nutzer achten seit Inbetriebnahme auf die Einhaltung der für den Betrieb der Anlage festgelegten Parameter.

Bereits kurze Zeit nach Einbau zeigten sich an den verbauten Neuhölzern der statisch konstruktiven Instandsetzung Volumenänderungen, die Anlass zu Ausbesserungen an Putz- und Anstrichschichten führten. Mit Inbetriebnahme der Temperierung sind weitergehende Formänderungen im Innenbereich ausgeblieben. Die Fußbodendielen, welche längere Zeit im Sägewerk gelagert waren und sich bereits vor der Verlegung über drei Monate im Gebäude befanden sowie die eingebauten, hölzernen Ausstattungen blieben bis heute formstabil (Abb. 21).



Abb. 16. Fürth, Königstraße 89, erstes Obergeschoss, Raum mit Balken-Bohlen-Decke nach der Instandsetzung und Umnutzung zu musealen Zwecken (1999).



Abb. 17. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude, Erdgeschoss: gewölbte Kammer vor der Instandsetzung (2000).



Abb. 19. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude, Erdgeschoss: Stube vor der Instandsetzung (2000).

Summary

Building Use and the Preservation of Historic Fabric. Case Studies of Plan Development in Preservation Practice

Development of a restoration plan within the framework of the rehabilitation and preservation of a historic building is determined to a great extent by the requirements arising from the intended use. Thus in addition to the requirements for structural repairs and stabilization of surface finishes, the plan must incor-

porate the necessary architectural and building service interventions that are tied to the user's wishes.

Case studies of projects in Middle Franconia (Bavaria) from the years 1995–2002 are used to illustrate this interplay among various disciplines and to demonstrate how a course of action could be developed by putting together the results of different investigations.

Although the building uses were very different – museum, residential and commercial use – parallels can be shown in procedures and execution.



Abb. 18. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude, Erdgeschoss: gewölbte Kammer nach der Instandsetzung und Umnutzung zu Wohnzwecken (2003).



Abb. 20. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude: Schäden an der Fachwerkfassade vor Abnahme der zementären Gefachputze (2002).



Abb. 21. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude, Erdgeschoss: Stube nach der Instandsetzung (2003).



Abb. 22. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude: Fassade nach der Instandsetzung (2003).

Nuremberg, Johannisstrasse 19

The project involves the garden house of a Nuremberg cloth merchant from the Baroque period with extensively preserved decor from the 18th century. The original design scheme and the surviving decor are preserved to various degrees on the façades and on the interiors on each story. Investigations into the building physics of the structure were carried out during the planning phase for the conservation and rehabilitation work. Based on the results of preliminary investigations and in accordance with the building's intended use as offices and commercial space, the surfaces were mostly given new treatments. The roof spaces were left in their original form, without the addition of building services. They are now available for careful use during the summer.

Vilseck, Vilseck Castle, Wall Paintings in the Keep

In the course of construction work in 2001 wall paintings from the 14th century were uncovered in the reveals of an entrance to the former castle chapel. Not only were later historic plaster layers with paintings on the entrance, which had been altered several times in different eras, lost through this exposure, but investigations carried out in recent years have also established that the actions of hygroscopic salts and an active infestation of mold have damaged the paintings. In view of the climate data that has been gathered, in order to further preserve the medieval paintings something must be done towards creating a stable climate corridor. One approach which could be carried out under the existing conditions involves a partitioning off of the building components with the paintings through construction of a large vitrine, continuous control of climate data, and regular supervision by restoration experts when the building is in use.

Fürth, Königstrasse 89, Jewish Regional Museum of Franconia

The building at Königstrasse 89 was constructed in 1702 by the head of the Jewish community of Fürth. In the 19th century it housed a mirror factory. Rehabilitation and conservation of the structure therefore had to be divided into two main phases: the removal of the materials and surfaces which had been severely contaminated by quicksilver, and the conservation and rehabilitation of historic building fabric from the Baroque period and its adaptation for public use as a Jewish regional museum. The indoor climate is regulated by a structural component warming/cooling system.

Offenhausen, Kucha 18

Conversion of a mill constructed in 1732 to a residence. In addition to dealing with severe structural damage, the conservation and rehabilitation plan had to take into account moisture prevalent in both the exterior and interior when materials and building services were selected. A structural component warming/cooling system was adapted for heating and wall components were treated with traditional materials, so that it was possible to avoid additional insulation of interior and exterior building elements.

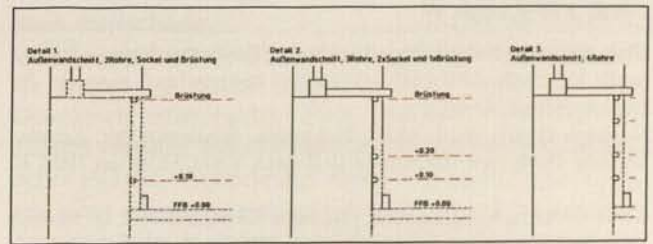


Abb. 23. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude: Schemazeichnungen zur Verlegung der Temperierung (Rohrtrassenführung für zwei, drei und vier Rohre; 2001).



Abb. 24. Kucha, Haus Nr. 18, Mühlengebäude, Obergeschoss: Vormauerung mit Lehmstein vor der Putzausführung, mit aufgelegten Rohrtrassen der Temperierung und Elektroinstallation (2002).

Various degrees of success were achieved in these case studies. The project results are presented in detail and the perceived deficits are pointed out. To summarize, they ultimately lead to the realization that comprehensive rehabilitation and restoration work still does not create adequate conditions for maintenance. A guarantee of continuous attention is of decisive importance for the maintenance of a building. However, within the framework of the work done on the projects discussed here it was possible to lay the groundwork for these requirements. In the case of the Jewish Regional Museum, for example, the documentation work was continued and initial principles for systematic building maintenance and care were developed. The administration of the relevant data will subsequently lead to cyclical data gathering and verification.



Abb. 25. Nürnberg, Johannisstraße 19, erstes Obergeschoss: Türblatt mit Schwundschäden aufgrund von Betriebsfehlern in der Handhabung des Heizsystems (2004).

Literaturverzeichnis

Allgemein

Henning GROSSESCHMIDT, Die Temperierung: Verfahren zur thermischen Bausanierung, Raumtemperierung und Klimastabilisierung in Museen und anderen Gebäuden (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege – Landesstelle für die Nichtstaatlichen Museen), München 1992.

Fürth, Königstraße 89

Claus GIERSCH, Untersuchungsbericht und Bestandsaufnahme, Königstraße 89, Fürth, ARB 1989–1991 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Heinrich HABEL, Stadt Fürth. Ensembles, Baudenkmäler, Archäologische Denkmäler (Denkmäler in Bayern, V.61), München 1994, S. 218 f.

Claus GIERSCH, Baugeschichte. Das Haus Königstraße 89, in: Monika BERTHOLD-HILPERT – Bernhard PURIN (Hrsg.), Jüdisches Museum Franken, Fürth und Schnaittach, München 1999, S. 5–7.

Robert GIERSCH, Ein Fürther Anwesen und seine Bewohner um 1700, Zwischenbericht zur Hausforschung Königstraße 89, in: Alt-Fürth, Fürth 1996, S. 81–91.

Kucha, Kucha-Mühle

Robert GIERSCH, Archivalienforschung zur Haus- und Baugeschichte der Kuchamühle, 2001 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Nürnberg, Johannisstraße 19

Diakonisches Werk, Barockpalais Johannisstraße 19 in Nürnberg (Neuendettelsauer Beiträge), Neuendettelsau 2000.

Robert GIERSCH, Quellenforschung zur Baugeschichte des historischen Gartenhauses Johannisstraße 19, Stadt Nürnberg, 1997 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Heinrich HAMANN, Bemerkungen zur Entwicklung des abschlagbaren Pomeranzenhauses in Deutschland, in: Die Gartenkunst des Barock. Tagung Schloß Seehof 1997 (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, 103 = ICOMOS, Hefte des Deutschen Nationalkomitees, XXVIII), München 1998, S. 125–130.

Dorothee NEHRING, Die Hesperidengärten in Nürnbergs Stadtteil St. Johannis, Nürnberg 1985.

Wilhelm SCHWEMMER, Aus der Geschichte des Gartenanwesens Johannisstraße 19, in: Mitteilungen des Vereins für Geschichte der Stadt Nürnberg, 68, 1981, S. 279–292.

Vilseck, Burg

Claus GIERSCH, Untersuchungsbericht zu den Wandmalereien im Bergfried der Burg Vilseck, Giersch und Keim, Fürth 2002–2003 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Robert GIERSCH, Archivalienforschung zur Burg Vilseck, 1992 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Conrad MATTHIAS, Die hochgotischen Wandmalereien, in: Der Eisengau, 19, 2002, S. 72–75.

Sven OEHMIG, Die Wandmalereien auf Burg Dagestein. Situationsbericht 29. Mai 2001 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Stadt Vilseck. Chronik der Stadt Vilseck, Vilseck 1993.

Jörg SEELE, Klimamessungen und bauphysikalische Untersuchungen an den Wandmalereien im Bergfried der Burg Vilseck, München 2003 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Eberhard WENDLER, Untersuchungen zu Putz und Wandmalerei im Turm der Burg Vilseck, München 2004 (Ms.; Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Archiv).

Abbildungsnachweis

Abb. 1–7, 9–25: C. Giersch, Fürth; Abb. 8: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München (Foto: D. Komma).

Unter welchen Voraussetzungen ist die Beheizung von Kirchen zu bejahen – und wie soll sie durchgeführt werden?

Üblich ist es, das Für und Wider einer Kirchenheizung anhand der haustechnischen Möglichkeiten, also der Heizsysteme zu diskutieren, oder aber durch Prognosen über Schäden infolge Herabsetzung der Raumluftfeuchte die Entscheidung vorwegzunehmen; es ist schon ein Glücksfall, wenn dieses Starren auf die sinkende Luftfeuchte auch noch durch allgemeine bauphysikalische Kenntnisse erweitert wird.

Tatsächlich muss aber die Beurteilung der Beheizung bisher unbeheizter großer Räume alter Bauart daran gemessen werden, in welchem Zustand sich Konstruktion, Raumschale und Ausstattung zum Zeitpunkt dieser Heizungsdiskussion befinden. Wird schon geheizt und es zeigen sich Schäden, dann ist zum einen deren Genesis vor, während und nach dem Heizungseinbau zu ermitteln und vor allem auch die Heizweise zu überprüfen, wobei es erfahrungsgemäß nicht genügt, den Betreiber zu befragen, ob er auch tatsächlich die vorgegebenen Regelungsdaten eingehalten habe.

Es ist – wenn auch ungeliebt und viel zu oft verdrängt – eine Tatsache, dass unbeheizte Räume dieser Art oft genug Schäden aufweisen, die durch eine angemessene Erwärmung künftig zu vermeiden sind; dies gilt vor allem nicht nur in Kirchen, sondern für die meisten vergleichbaren großen Räume, die früher kaum winterlich genutzt wurden, wie Säle in Sommerschlössern, Pavillons und ähnliche.

Die verantwortliche Entscheidung für oder gegen den Einbau einer Heizung und – vor allem, wenn schon eine eingebaut ist – für die Art der Beheizung, verlangt die sehr detaillierte Kenntnis des bauphysikalischen Ist-Zustands und zudem die Kenntnis früherer und auch geplanter Nutzung: dies heißt, dass eine Interpretation des Raumklimas unter Berücksichtigung des Ist-Zustands zwingend notwendig wird. Es weisen nicht nur Algen- und Schimmelbefall bei Ausstattung und Raumschale auf zu hohe Raumluftfeuchte hin, sondern fast jeder organische Befall; auch der zeitliche Verlauf der Raumschalenverschmutzung, vor allem aber deren Verteilung im Raum sind Indizien für – zumindest periodisch – zu hohe Raumluftfeuchte. Aber auch die „typischen Trockenschäden“ – Verwerfungen, Risse, Abblätterungen und Abmehlungen – können ein deutlicher Hinweis auf immer wieder zu hohe Luftfeuchte sein, denn ihr Auftreten setzt Materialfeuchtedifferenzen voraus, also stark wechselnde Raumluftfeuchten.

Hier kann ein Beheizen die Sanierung bringen, was heißt, dass dieses Beheizen, also die Heizweise, auf den räumlichen Ist-Zustand abzustellen ist. Kennt man endlich diese Forderung, kann im zweiten Schritt auch das Heizsystem gewählt werden, dessen Wahl üblicherweise auch noch durch Berücksichtigung

der baulichen Eingriffe, oder aber finanzieller Erwägungen bestimmt wird.¹

1. Der Begriff „Kirchenheizung“

Der Begriff „Kirchenheizung“ für die Heizung von „großen Räumen alter Bauart“ ist zweifach irreführend: Zum einen gilt die Problematik grundsätzlich für die Beheizung aller großen historischen Räume, also nicht nur für Kirchen, sondern ebenfalls für Schloss- und Ratssäle, für Theater und Hallen von Burgen, Klöstern und so weiter; zum zweiten suggeriert er die Vorstellung eines Beheizens dieser Räume, wie wir dies normgerecht unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Temperaturen gewohnt sind. Tatsächlich aber werden diese „großen Räume alter Bauart“ meist nicht im heute üblichen Sinn beheizt, sondern lediglich temperiert zur Verbesserung ihrer Nutzbarkeit, ebenso aber zur Schadensverringerung. Trotzdem soll auch im weiteren an diesem bereits festgeschriebenen Begriff „Kirchenheizung“ festgehalten werden, da hierunter inzwischen allgemein jene Probleme verstanden werden, durch die sich die Beheizung solcher Räume von den üblichen Standards unterscheidet.

Schon vor Jahrzehnten wurde darauf hingewiesen, dass sich die Beheizung großer Räume in ihrer Problematik vom Gewohnten unterscheidet.² Diese Differenz wurde nochmals dadurch verstärkt, dass neue Kirchen, Hallen, Festsäle und ähnliches zwar in vergleichbarer Größe wie früher, aber in entscheidend anderer Konstruktion errichtet werden: Die meisten der neuen Anlagen sind als beheizbar geplant und erstellt, wurden entsprechend wärmedämmend und besitzen vielfach eine vorgegebene Lüftung. Es ist also leider nicht nur falsch, die Erfahrung von Büro- und Wohnungsheizungen auf „Kirchen“ anzuwenden, sondern auch die der Beheizung vergleichbarer großer neuer Räume, weshalb nochmals betont wird, dass das Folgende sich auf „alte“ Kirchen – und vergleichbare Räume – bezieht; selbstverständlich gelten die bauphysikalischen Gesetzmäßigkeiten auch für jeden Neubau.

Ein weiteres Problem ist im Begriff der „Kirchenheizung“ enthalten: der Schutz kulturhistorisch wertvoller Ausstattung. Hierunter wird jedoch nicht nur die bewegliche Ausstattung wie Möbel, Plastiken und Gemälde verstanden, sondern die gesamte Innenschale einschließlich der Konstruktion des Raumes, was leider viel zu oft vergessen wird.

2. Schadensfaktoren

Worin liegt nun diese Gefährdung – und warum ist sie gerade in Abhängigkeit von der Heizung zu sehen? Die Antwort muss vorab theoretisch gegeben werden. Jede Temperaturveränderung bringt eine Veränderung der relativen Luftfeuchte mit sich;

¹ Claus ARENDT, Raumklima in großen historischen Räumen. Heizungsart, Heizungsweise, Schadensentwicklung, Schadensverhinderung, Köln 1993.

² H. KORI, Die Berechnung der Kirchenheizung nach der Rietschelschen Formel“, Gesundheitsingenieur 47, 1924, Nr. 21.

dies gilt auch für die Raumluft. Unter Vernachlässigung der ausgleichenden Eigenschaften der Raumhülle liegt diese Abhängigkeit in dem hier zu findenden Temperaturbereich bei etwa 3–4% relativer Luftfeuchteänderung entsprechend 1 K Lufttemperaturveränderung: Steigt die Temperatur um ein K, sinkt die Luftfeuchte entsprechend – und umgekehrt. Dies bedeutet, dass bereits eine relativ geringfügige Erhöhung der Raumlufttemperatur eine so starke Absenkung der relativen Raumluftfeuchte bewirken kann (Abb. 1), dass das Material der gefährdeten Ausstattung, allem voran Holz, diese Abtrocknung nicht mehr ohne Schaden verkraften wird.

Selbstverständlich kannte der historische Raum auch ohne Heizung im Jahreslauf entsprechende Temperatur- und damit Feuchteänderungen. Diese jedoch liefen im Normalfall langsamer ab, da selbst bei raschen Witterungsumschwüngen die üblicherweise stark wärme- und feuchtespeichernden Massen der Raumschale einschließlich Pfeiler und Ausstattung derartige Veränderungen stark dämpften. In Kenntnis dieses Sachverhaltes wurde und wird immer noch gefordert, dass im Gegensatz zur üblichen Beheizung eine Kirchenheizung den Raum nur möglichst langsam erwärmen darf.

Eine zweite Forderung ist hieraus noch ableitbar: Auch bei Beheizung muss die Raumlufttemperatur noch möglichst niedrig bleiben, um eine ausreichend hohe relative Raumluftfeuchte zu gewährleisten. Beide Forderungen sind in dieser Ausschließlichkeit und in der simplen Zuordnung zur Heizung falsch, gefährlich und irreführend – auch wenn sie von Denkmalpflegern und Restauratoren mit Vehemenz gestellt werden.

Ein mehrjähriges Forschungsvorhaben des Bundesforschungsministeriums über das Problem der Kirchenheizung,³ das von mir schon vor Jahren durchgeführt wurde, zeigte an mehr als hundert Kirchen sehr deutlich, welche Einflussfaktoren und Abhängigkeiten bisher vielfach übersehen wurden: Auch für die Kirchenheizung gilt wie für viele bauphysikalische Probleme, dass sehr enge und vielfältige Verflechtungen aus Material, Konstruktion, Lage des Gebäudes und vor allem auch seiner Nutzung bestehen, deren Ignorieren zur einfacheren Ableitung von allgemein gültigen Patentrezepten deutlich mehr schadet als nützt. Ein Beispiel aus der Praxis mag dies verdeutlichen:

Das Ingolstädter Münster ist ein spätgotischer Bau mit teilweise außergewöhnlicher Ausstattung. Nach einer grundlegenden Restaurierung mit zusätzlichen Veränderungen des Kirchenumfangs zeigten Teile dieser Ausstattung schwere Schäden, für die ohne Umschweife die Warmluftheizung verantwortlich gemacht wurde. Da man also die Ursache schon vor der Ursachensuche kannte, beschränkte sich diese auf die Feststellung, wie weit die Raumluft im Winter abtrocknet. Übersehen wurde im Eifer dieser Schuldzuweisung allerdings, welchen gravierenden Veränderungen diese Kirche gerade auch mit Billigung der nun verurteilenden Stellen unterworfen wurde:

- Seit dem 19. Jahrhundert war das Münster parkähnlich von hohen Bäumen dicht umstanden. Diese nun gefällten Bäume beschatteten nicht nur die große Fensterfläche, sondern sie schufen auch ein Kleinklima höherer relativer Luftfeuchtigkeit um die Kirche und damit auch in der Kirche.
- Gleichzeitig wurde der angeblich frühere Zustand des Kirchenumfangs wieder hergestellt, in dem man das Niveau des Parks um circa einen Meter verringerte und die so entstandene Fläche großflächig mit Platten deckte – die es allerdings in früherer Zeit auch niemals gegeben hatte. Selbst-

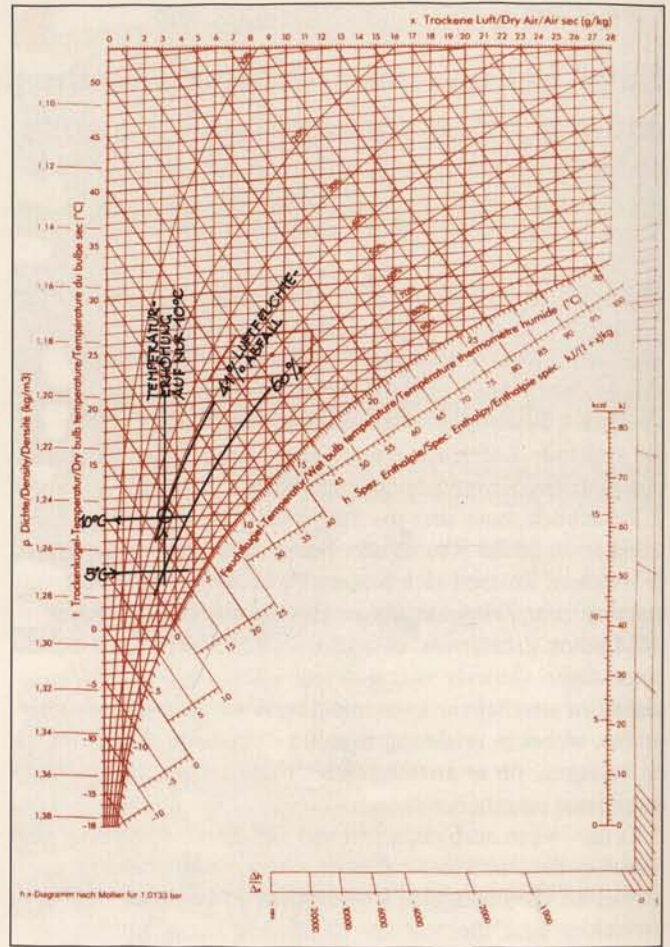


Abb. 1. Graphische Verdeutlichung der Abhängigkeit der Verläufe von Lufttemperatur und Luftfeuchte.

verständlich ließ sich auch die frühere dichte Umbauung des Münsters nicht wieder herstellen.

- Die bunten Glasfenster des Historismus mussten ebenfalls als spätere Zutat verschwinden und wurden gegen normales Fensterglas unebener historisierender Oberfläche ausgetauscht.
- Im Zuge des Aufgrabens zur Verlegung der Warmluftkanäle machte man auch baulich die berühmten Nägel mit Köpfen: Der gesamte Kirchenboden erhielt einen neuen Bodenbelag in der hierfür heute üblichen Betonkonstruktion, die gegen aufsteigende Nässe, welche es im Ingolstädter Münster nie gab, entsprechend wasserdicht abgesperrt wurde.

Der Erfolg all dieser aus sehr unterschiedlichen Motiven gewählten, hier in jedem einzelnen Fall jedoch unnötigen und leider in einer einzigen gemeinsamen Richtung wirkenden Maßnahmen, war eine gravierende Veränderung des Feuchtehaushalts in der Kirche, unterstützt durch die Beheizung:

- Das Sonnenlicht fällt nun, nicht mehr gehindert durch die frühere dichte Bebauung, durch Bäume und farbige Kirchenverglasung wie bei einem Gewächshaus in den Kirchenraum und hat dort den gleichen Effekt, und zwar eine unverhältnismäßig starke Anhebung der Raumlufttemperatur, die tatsächlich sogar im Sommer zu der sonst für diese Jahreszeit völlig unüblichen Absenkung der Raumluftfeuchte bis zu 30% relativer Feuchte führte;

³ Vgl. ARENDT, (Anm. 1).

- das Absenken des umgebenden Erdreichs verringerte die feuchtigkeitsaufnehmende Außenwandfläche um mehr als hundert Quadratmeter, so dass damit auch,
- wie durch den ebenfalls abgesperrten Fußbodenaufbau, die natürliche Feuchteabgabe an den Raum verringert und unterbunden wurde;
- statt eines, durch Bepflanzung optimalen Kleinklimas, steckt nun die Kirche in einem Steinplattensee, der zudem nochmals die Reflexion der Sonnenstrahlen ins Kircheninnere verstärkt.

Dass die Heizung ebenso wenig sachgemäß gefahren wurde, fiel nun kaum noch ins Gewicht. Die Heizung war allerdings der einzige Faktor in dieser, die Ausstattung schädigenden Maßnahmengruppe, der ohne größeren Aufwand nachträglich verbessert werden konnte, indem Ausblasgeschwindigkeit und -temperatur entscheidend verringert wurden.

Dieses Beispiel zeigt für jeden überprüfbar, dass derartigen Räumen ein jeweils typisches und *nur für sie geltendes* Raumklima zuzuordnen ist, das durch eine Vielzahl von Einflüssen geschaffen wurde und meist bereits über Jahrzehnte, auch Jahrhunderte herrscht.

Die Erfahrung zeigt allerdings auch, dass es falsch ist, dieses „alte“ Raumklima schon von vornherein als schützend für das Bauwerk und den Raum und seine Ausstattung zu bezeichnen. In manchen seltenen Fällen aufsteigender Feuchtigkeit, *vor allem* aber bei Kondensationsfeuchte, der die Ausstattung ebenso zum Opfer fällt wie bei zu trockener Luft, kann ein Beheizen zur Temperierung der Raumschale eine Verbesserung, unter Umständen sogar die entscheidende Hilfe bringen. Hinzu kommt, dass Kondensation sogar die Konstruktion selbst in verdeckten, also nicht durch Augenschein überprüfbaren Bereichen zerstört (Abb. 3).

Jede „Kirchenheizung“ als schädigend zu be- und verurteilen, zeigt also ebenso wenig Sachverstand wie Verantwortungsgefühl; es ist vielmehr notwendig, sich über den bisherigen Ist-Zustand des Raumklimas ausreichend Kenntnis zu verschaffen, also die Voraussetzungen zu kennen, die für oder gegen ein Beheizen sprechen.

Die Einsicht, diese „Voraussetzungen“ kennen zu müssen, soll noch ein zweites Beispiel wecken: Die Nürnberger Frauenkirche, die schon seit längerer Zeit beheizt war, beherbergt ebenfalls eine Anzahl qualitätvoller Ausstattungstücke. Besonders hervorzuheben ist hier der Tucher-Altar, der nun nach einem Heizungsumbau – in diesem Falle eine wesentliche haustechnische Verbesserung in Bezug auf ein verträgliches Raumklima! – ebenfalls starke Schäden zeigte, die selbstverständlich von den Beteiligten wieder der Heizung angelastet wurden. Was war in dieser Kirche geschehen?

Der Tucher-Altar stand bis zu Beginn der allgemeinen Sanierungsarbeiten an der Außenwand des Schiffs unter einem Fenster. Während der Arbeiten in der Kirche wurde er zu einem Restaurator gebracht, der die Schäden feststellen und den *Ist-Zustand* konservieren sollte. Nach Abschluss der baulichen Maßnahmen und der Schaffung einer neuen Altarzone wurde der Tucher-Altar im Chor als Altarbild wieder aufgestellt. Bereits nach wenigen Monaten zeigten sich an diesem Ausstattungstück starke Schäden: In Unkenntnis der nun allerdings schon seit Jahren veröffentlichten Zusammenhänge musste dieser wertvolle Altar innerhalb relativ kurzer Zeit drei äußerst unterschiedliche Standorte verkräften. Selbstverständlich konnte er das nicht!

- An der Außenwand, seinem ersten Standort, fand er noch einen relativ kühlen Platz, was sich zwingend auch auf seine Materialfeuchte auswirkte. Zudem waren die Holztafeln dem ständig vom Fenster abfallenden, leichten Kaltluftstrom ausgesetzt, was nochmals einer stärkeren Austrocknung entgegenwirkte.
- In der Werkstatt des Restaurators herrschten völlig andere Zustände: Die wesentlich wärmere Luft wurde zwar „entschärft“ durch eine *vorgeschriebene* relative Luftfeuchte, das heißt durch jene, die der Restaurator und der Denkmalpfleger mit 60% relativer Feuchte für optimal erachteten, ohne daran zu denken, dass auch diese „optimale“ Luftfeuchtigkeit keineswegs dem jahrelangen bisherigen Standort entsprach.
- Als krönender Abschluss der Neugestaltung des Altarbereichs kam der Tucher-Altar schließlich in den Chor, wo er nun freistehend aufgestellt wurde, wodurch er allseitig dem in dieser Kirche herrschenden und selbstverständlich durch die Heizung mitbedingten Raumklima sowie zusätzlich der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt war.

Zum dritten Mal innerhalb von etwa zwei Jahren musste sich also dieses wertvolle Ausstattungstück einer entscheidenden Klimaveränderung anpassen – und tat dies selbstverständlich auch unter entsprechenden schadensfördernden Volumenänderungen. Diese mussten um so stärker ausfallen, als man nicht beachtete, dass die Altartafeln nur einseitig bemalt oder – im bauphysikalischen Sinn – beschichtet waren, und somit Feuchteaufnahme und Feuchteabgabe *niemals* an beiden Oberflächen gleichmäßig ablaufen konnten. Zu allem Überfluss setzte der neue Standort die Altartafeln dem direkten Sonnenlicht aus, was man dadurch zu entschärfen hoffte, dass man im Chor eine Zusatzverglasung mit UV-Filter-Effekt vorsah in Unkenntnis der Tatsache, dass damit die Wärmebelastung der bestrahlten Altaroberflächen nicht vermeidbar ist.

Der zwangsläufige Schaden, den der Tucher-Altar erdulden musste, hat seine Ursache also wiederum in einem Vorurteil, in jenem nämlich, dass das gesamte Umfeld eines Ausstattungstücks auf Biegen und Brechen klimatechnisch diesem anzupassen sei, was leider, selbst mit sehr viel mehr Mitteln als üblicherweise zur Verfügung stehen, *fast niemals möglich* ist.

Schaden	Kondensat	Verschmutzung	Quellen Schrumpfen
Ursache			
Oberflächen-temperatur	X	X	x
Luftwechsel	X		X
Strömung	x	X	x
Sorption	X	X	X
Luftfeuchte- veränderung	x		X
Heizsystem	X	X	x
Heizweise	X	X	X

Abb. 2. Tabelle raumklimatischer Parameter: direkt wie indirekt heizungsbedingte Einflüsse auf Raumschale und Ausstattung.

Auch diese Erkenntnis muss jedem Abwägen der Für und Wider einer Kirchenheizung zugrunde gelegt werden: es ist fast nie erreichbar, das – manchmal nur scheinbar – optimale Raumklima eines Museums auch einer Kirchengestaltung zu bieten, doch ist es fast immer möglich, negative Auswirkungen des bisherigen Raumklimas durch Beheizen – eventuell auch „Belüften“ – zu entschärfen, vielleicht sogar völlig zu beseitigen. Da eine Heizung fast immer vom Nutzer gefordert wird, also auch nutzungsbedingte Forderungen erfüllen soll, wird dem Denkmalpfleger, dem Sachverständigen und – wenn auch häufig vergeblich – dem Projektanten das Kunststück abverlangt, scheinbar Unvereinbares zu verbinden. Nutzt man alle technischen Möglichkeiten, auch jene der Regelung, berücksichtigt man die bauphysikalischen Eigenschaften von Raumschale und Ausstattung, kennt man die sehr unterschiedlichen „Empfindlichkeiten“ – im übrigen auch physikalische und chemische Eigenschaften! – von Fassungen und Trägermaterial, löst sich sehr oft diese Unvereinbarkeit auf, was umso wünschenswerter ist, je stärker sich dieser Eingriff in das Raumklima tatsächlich auch als sanierende Maßnahme für das Baudenkmal erweist.

Eine Hilfe in der Beurteilung raumklimatischer Einflüsse gibt die Auflistung „Raumklimatischer Parameter“ (Abb. 2). Sie verdeutlicht, welche heizungsbedingten Einflüsse schließlich Kondensat, Verschmutzung oder Materialbewegungen – Quellen, Schrumpfen – nach sich ziehen: Oberflächentemperatur, Luftwechsel, Strömung, Sorption (= Feuchtaufnahme und -abgabe über die Luft), Luftfeuchteveränderungen; außerdem werden die Einflüsse aus dem Heizsystem und der Heizweise selbst genannt, was verdeutlicht, dass die Heizweise hierbei das entscheidendere Kriterium darstellt und deshalb die Heizsysteme vor allem auch danach zu beurteilen sind, ob sie in dieser Kirche, in diesem Schloss-Saal überhaupt die bestmögliche Heizweise ermöglichen.

3. Voraussetzungen und Ziel einer „guten“ Beheizung

Unter den mehreren hundert Kirchen, Schloss-Sälen und Vergleichbarem, die ich seit nun annähernd dreißig Jahren begutachte und berate, fanden sich nur wenige Objekte, bei denen eine „Heizung“ als unverantwortlich kompromisslos abzulehnen war. Sehr viel häufiger schon musste die Art der Beheizung, also die Heizweise, abgelehnt werden, weil der Nutzer in Unkenntnis, oft genug auch in bewusster Ignoranz der „Bedürfnisse“ von Raumschale und Ausstattung forderte, was nicht zu erfüllen war. Auch hier sollen zwei Beispiele erläutern, wie



Abb. 3. Infolge Kondensation zerstörter Holzbalkenkopf einer Saaldecke.

vielfältig und verwoben die Einflüsse sind und wie sinnlos es ist, über eine „gute Heizung“ zu sprechen, ohne auch die Nutzung kritisch zu hinterfragen:

Das Antiquarium der Münchener Residenz zeigte in seiner Raumschale Ablösungen und Abmehlungen der Fresken, Salzausblühungen, diese vor allem auch in Stuckbereichen oder sogar in den aufgestellten Kopien (Abb. 4); der Schaden schritt rasch voran; die verantwortliche Bauverwaltung wusste, was der Verursacher nicht wissen wollte: dieser herrliche Raum war übernutzt, denn über die Jahre konnte jeder, der entsprechendes Geld und Beziehungen hatte, darin feiern. Selbstverständlich musste deshalb auch geheizt werden. Dampf und Dunst der Feienden, des Essens, der Getränke, der Pflanzen hoben die Materialfeuchte der Raumschale an, was – vereinfacht dargestellt – die Salze in Lösung brachte. Die Salzverseuchung, die in diesem Objekt nicht einmal mittelfristig und ohne Rücksicht auf Kosten beseitigt werden könnte, stammt aus dem Krieg, als man mit dicken Lagen von Brandschutt die unversehrten Gewölbe zum Schutz gegen Brandbomben bedeckte; der Regen schwemmte damals aus dem Brandschutt ein, was heute noch alte und neue Raumschale belastet. War ein solches Fest vorüber, durfte endlich wieder schonend, also zurückhaltend geheizt werden, was wiederum gravierend den Wasserhaushalt veränderte. Diesem „feucht“ – „trocken“ entsprachen jedes Mal die Salze durch einen Zustandswechsel, der stets auch mit Volumenveränderungen verbunden ist: So geschah in der Decke dieses Festsaals genau das, was wir im salzbelasteten Sockelbereich kennen: das mineralische Material wurde zerstört.

Zu den technischen Verbesserungen, die nach einem Jahr der Klimamessung und damit des Belegs der Gefährlichkeit dieser ungezügelter Nutzung, vorgenommen wurden, nämlich anderes Heizsystem und vor allem Belüftung zum Abbau zu hoher Feuchtespitzen, musste zwingend eine rücksichtsvollere Nutzung kommen. Unter „der Last der Beweise“ wurde endlich auf die vor allem im Winter so stark und rasch schädigenden Veranstaltungen weitestgehend verzichtet.

Die „Sala terrena“ eines großen Sommerschlusses weckte Begehrlichkeiten einer „besseren“ Nutzung, also auch einer Nutzung in jener winterlichen Jahreshälfte, die bisher von Baubeginn an äußerst selten war, weshalb eine Heizung eingebaut wurde trotz der vorausgesagten Schäden. Diese traten bereits in der ersten Heizperiode ein: starke Risse und Sprünge in hölzernen Ausbauteilen und Verluste an der farbigen Fassung. Im irriren Glauben, dass technisch auch immer machbar sei, was man wolle, „entschärfte“ man das unverträgliche, winters zu trockene Raumklima durch eine zusätzliche Befeuchtung, sodass schon beim ersten spätherbstlichen Konzert das Wasser an den einfach verglasten großen Türen derart in Strömen abließ, dass sich auf dem originalen Holzfußboden große Lachen bildeten, die nicht nur starke Ränder, sondern auch ein Verwerfen verursachten. Wieder wurde mit Rücksicht auf die Bedeutung dieses Baudenkmal ebenso rasch wie ebenso falsch reagiert: Die noch originalen Fenstertüren wurden „umgerüstet“ zu einer Zweifachverglasung, was insgesamt wie im Detail zu einigen formalen Unerträglichkeiten führte. Nicht bedacht war in diesem eindimensionalen Denken, dass der Wasserdampf, den dieser Raum seit seinem über zweihundertjährigen Bestehen niemals ertragen musste, die gesamte Raumschale belastete, auch wenn dies nur an den Glasscheiben sichtbar wurde. Diese Belastung wirkte also weiter – und stärker als je zuvor, weil nun auch die



Abb. 4. München, Residenz, Antiquarium: starke Salzschäden, ausschließlich bedingt durch zu hohe Luftfeuchteschwankungen.

bisherigen „Entfeuchtungsflächen“ der kalten Fensterscheiben fortflehen: Sowohl in den Balkenköpfen als auch in Teilen der hölzernen Deckenkonstruktion wurde – aufgeschreckt durch einige Risse in der Putzschale – weitreichender Schwammbefall entdeckt, der zu seiner Sanierung eine Art Rückführung in den Rohbauzustand des bis zur Entscheidung „Heizung“ intakten Saales führte.

Einer der gefährlichsten Irrtümer dieser irrumsreichen Argumentation ist also jener, durch eine zusätzliche Luftbefeuchtung die Raumluft auf jenen fiktiven Werten zu halten, die sich in einem klimatisierten Museum als optimal erwiesen haben: 55 – 60% relativer Raumluftfeuchte. Wer so den Teufel mit dem Belzebub austreibt, wird in Kürze schwere bis schwerste Feuchteschäden an der Konstruktion, an der historischen Fensterverglasung und in besonderen Fällen an freskierten Außenwänden und Gewölben finden, da sich an deren kälteren Oberflächen, aber auch in der Konstruktion selbst das Wasser niederschlagen kann (Abb. 5). Das Bauwerk, vor allem aber die Ausstattung reagieren nämlich lange nicht so empfindlich wie immer prognostiziert auf die *Abweichung* vom museal-idealen Luftzustand, sondern auf den *Wechsel* der Raumlufttemperatur und damit der relativen Raumluftfeuchtigkeit. Vereinfacht dargestellt heißt dies, dass selbst ein empfindliches Ausstattungsstück bei beispielsweise 40% relativer Feuchte schadensfrei die kommenden Generationen beglücken könnte, wenn ihm nur ständiges Schwinden und Quellen durch einen Wechsel dieser Raumluftfeuchte erspart blieben. Auch hier kann also die ideale „Kirchenheizung“ nur gefunden werden, wenn der klimatische Ist-Zustand des zu beheizenden Raumes bekannt ist, wobei „ideal“ durchaus bedeuten kann, dass auf gar keinen Fall eine

Kirchenheizung eingebaut werden darf, was von mir beispielsweise für die Wies-Kirche so zweifelsfrei nachgewiesen werden konnte, dass selbst politischer Druck verpuffte.

Damit ist bei Beachtung der Ausstattung die wesentliche Forderung an ein Kirchen-Heizsystem und *vor allem* an die Heizweise gestellt:

Bestmögliche Vermeidung hoher und häufiger Luftfeuchteschwankungen.

Bei Beachtung der Raumschale lautet die entscheidende Forderung wieder an die Heizweise, aber auch an das Heizsystem, da nicht alle Systeme diese optimale Heizweise ermöglichen:

Leichte Erwärmung der Raumschale zur Vermeidung zu hoher Materialfeuchte oder gar Kondensation.

Für die Praxis stellt sich dies deshalb als problematisch heraus, weil nun in jedem Bauwerk die folgende Abhängigkeit zu beachten ist:

1. Die Wärmeabgabe muss – fast immer; es gibt jedoch Ausnahmen – in Art und vor allem Dauer auch die Raumschale erfassen.
2. Bei einem bisher unbeheizten Raum, muss sich *zwangsläufig* die mittlere *winterliche* Raumluftfeuchte entsprechend der stationären Beheizung (Grundtemperatur) absenken; das Hochheizen zu Zeiten der Nutzung wird bei entsprechender Heizweise durch Sorptionsvorgänge allerdings in fast allen Fällen zusätzlich *keine* nennenswerte Veränderung der Raumluftfeuchte bringen.
3. Die mittlere *sommerliche* Raumluftfeuchte bleibt davon selbstverständlich unberührt, sieht man von einer kurzen Übergangszeit ab.
4. Die auf Dauer schädliche *Differenz* im *Jahres*-Luftfeuchteverlauf muss bei einer Größe über 30%, bei außergewöhnlicher Ausstattung schon über 20% verringert werden.
5. Hierzu im Winter zu befeuchten, um während dieser Jahreszeit das Luftfeuchteniveau anzuheben, birgt in fast allen Fällen die Katastrophe einer nachhaltigen und umfangreichen Schädigung der Raumschale wie auch verdeckter Konstruktionsteile, meist aus Holz.
6. Was bleibt als Lösungskompromiss, ist die Kappung der sommerlichen Luftfeuchtespitzen, weshalb nach meiner Erfahrung mindestens bei der Hälfte aller untersuchten und beurteilten Raumklimata der gesteuerten Lüftung und manchmal auch der mechanischen Entfeuchtung eine besondere Bedeutung zukommt.



Abb. 5. Luftfeuchtebedingter Bauschaden: schwammbefallene Deckenkonstruktion.

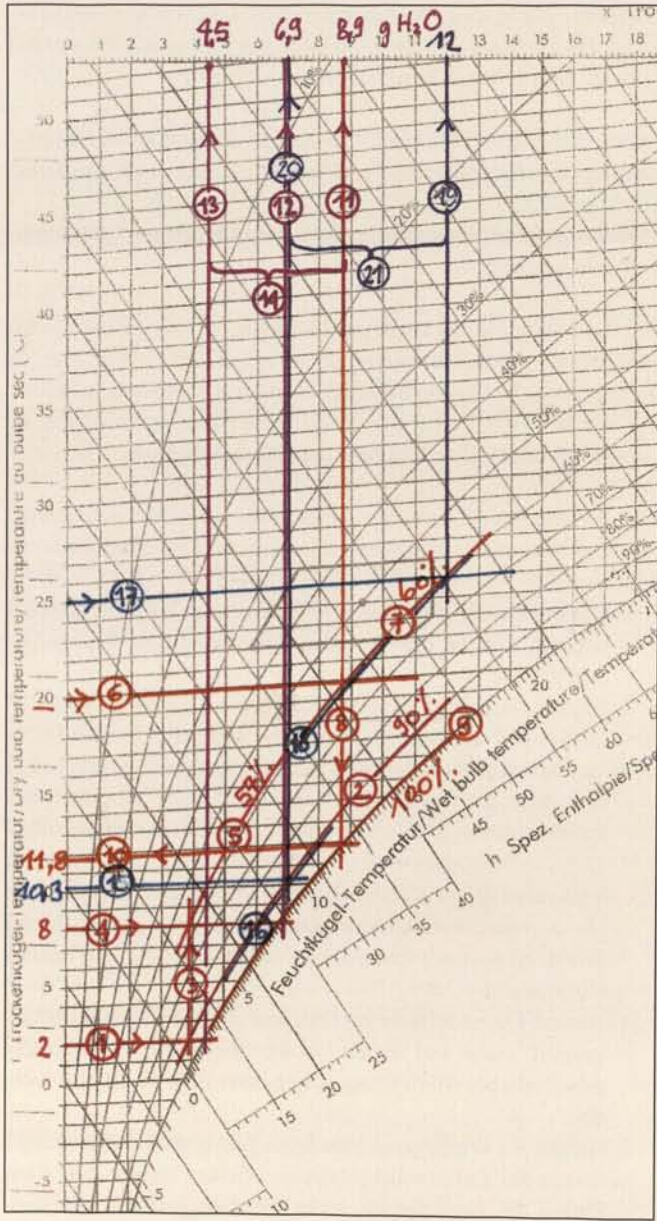


Abb. 6. Graphische Darstellung der theoretischen Einflüsse von Nutzung, Heizung und Lüftung (Außenklima) auf die Feuchtebelastung von Raumklima und Ausstattung.

Dieser im Winter wie im Sommer so entscheidende Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte lässt sich wieder am einfachsten in seiner theoretischen Abhängigkeit erklären, nach der die Luftfeuchte um 3–4% steigt oder fällt, wenn die Temperatur um 1 K fällt oder steigt (Abb. 6).

Dies heißt: Erwärmt (3) man die winterliche Raumluft von 2°C (1) und einer Raumluftfeuchte von 90% (2) bescheiden auf 8°C (4), sinkt die Raumluftfeuchte bereits auf etwa 57% (5). Bringt ein warmer Spätmärztag schon 20°C Außentemperatur (6) bei einer niedrigen Außenluftfeuchte von 60% (7), so erreicht diese Luft bei Abkühlung (8) den Taupunkt (100%) (9), also jenen Temperaturbereich, bei dem gasförmiges Wasser flüssig ausfällt, bereits bei etwa 11,8°C (10), obwohl die Wände immer noch nur 8°C (4) zeigen, im übrigen eine starke Vereinfachung, denn bei dieser Raumlufttemperatur werden die Kirchenwandoberflächen höchstens um die 6°C zeigen. Was nun an Wasser ausfallen muss, zeigt (11 und 12) die obere Leiste mit dem Wassergehalt der Luftzustände: 8,9 g/m³ Wasser

fallen an; knapp 7 g/m³ Wasser können maximal aufgenommen werden; die Differenz von circa 1,9 g/m³ Wasser belastet die Raumschale flüssig und wird von ihr auch gespeichert und weitergeleitet. Ginge man vom früheren unbeheizten Zustand aus (1), so könnte die Luft nur etwa 4,5 g/m³ Wasser „tragen“ (13), so dass die ausfallende Wassermenge sogar um die 4,4 g/m³ betrüge (14).

Das frühjährliche Lüften hat also die Situation deutlich verschlechtert, was aber auch noch im Sommer gilt: die Raumluft zeigt inzwischen wieder 10,3°C (15) und hohe 90% relative Feuchte (16); außen herrschen 25°C (17) bei „nur“ 60% (18), weshalb wegen des „trockenen Wetters“ die Kirchentüren und möglichst noch einige Fenster weit geöffnet werden. Tatsächlich beinhaltet (19) diese „trockene“ Sommerluft 12 Gramm Wasser je Kubikmeter, die „feuchte“ Raumluft (16) dagegen (20) nur 6,9 Gramm: das falsche, nämlich unregelte und den Wassergehalt der Luft nicht beachtende Lüften bringt also wieder einen entsprechend hohen und unerwünschten Wassergewinn (21). Auch wenn diese Darstellung sehr vereinfacht ist und noch weitere Faktoren in den Luftfeuchtehaushalt eines Raums regulierend und fast immer eher ausgleichend eingreifen, wird doch deutlich, dass das übliche Starren auf heizungsbedingte Raumluftveränderungen während des Winters eine entscheidende Schadensquelle zur Verschlechterung des Raumklimas übersieht: Feuchtgewinn im Frühjahr und Sommer, hauptsächlich durch Lüften. Abbildung 7 zeigt den Wasserniederschlag auf einem ungedämmten historischen Fußboden, bedingt durch den fröhsommerlichen Luftwechsel über eine undichte Tür (Abb. 7).

Während die beiden vorab genannten Faktoren – Lufttemperatur und Luftfeuchte – in Zukunft wohl nicht schadensfrei, aber doch bei ihrer Beurteilung durch gediegenere Kenntnis wesentlich geringer als bisher einwirken könnten, ist ein dritter Schadensbereich wohl nur theoretisch besser in den Griff zu bekommen. Es wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, wie schädlich der häufige Temperaturwechsel ist. Dieser Wechsel wird aber auch schon dadurch erzwungen, dass kaum eine Gemeinde ihre Kirche, ihren Schloss- und Ratssaal während der gesamten siebenmonatigen Heizperiode kontinuierlich auf der gewünschten Temperatur halten kann. Die Denkmalpflege hat deshalb zu Recht schon seit langem darauf hingewirkt und wurde hierin endlich auch von der Industrie unterstützt, dass die Heizung kostensparend auf niedrigerer Raumtemperatur durchgehend gefahren wird, um dann während der Nutzungszeiten auf die entsprechend gewünschte Maximaltemperatur hochzuheizen. Diese Maximaltemperatur wurde aus den schon geschilderten Gründen, aber auch um die Temperaturdifferenz zwischen diesen beiden Beheizungsweisen möglichst gering zu halten, in ihren Empfehlungen immer weiter abgesenkt und liegt nun während der Gottesdienste bei 12°C, besser 10°C. Als maximale Temperaturdifferenz wird stets ein Δt von 3–5 K (Kelvin als Einheit der Temperaturdifferenz statt früher ebenso °C) empfohlen.

Die Aufheizzeit soll durch eine entsprechend sensible Regelung, möglichst noch unterstützt durch entsprechende Wärmeabgabe, ein Kelvin je Stunde nicht überschreiten, möglichst sogar bei 0,5 K/h liegen. Je nach Heizungssystem und abhängig vor allem von Lage und Bauart der Kirche, ist ein Einhalten dieser doch recht engen Regelwerte möglich und gilt derzeit allgemein als Stand des technischen Wissens. Die wenigen Fachleute auf diesem Gebiet „Kirchenheizung“ wussten zwar stets, dass diese Empfehlung eine Art Schamlatz darstellt, da die

Volumenänderungen im Holz und damit auch in allen Schichten, denen Holz als Untergrund dient, wesentlich langsamer verlaufen als selbst diese gestreckte Aufheiz- und Abkühlzeit. Dennoch galt und gilt diese Möglichkeit als das bisher erreichbare Optimum.

Der Blick zu unseren westlichen Nachbarn musste hier schon immer stutzig machen: Dort wird zum Teil immer noch mit primitivsten Warmluftheizungen möglichst rasch vor dem Gottesdienst möglichst hoch geheizt, diese Heizung aber dann schon aus schalltechnischen Gründen während des Gottesdienstes abgestellt, so dass die Kirche entsprechend wieder abkühlt. Selbstverständlich findet man in diesen Kirchen die zu erwartende außergewöhnliche Verschmutzung, auf die noch gesondert eingegangen werden wird, aber kaum Schäden jener Art, die bei uns trotz behutsamen Aufheizens und gesteuerten Abkühlens immer wieder an der hölzernen Ausstattung und an Fassungen auftreten. Dies ist eine sehr praktische und in vielen Beispielen überprüfbare Bestätigung der Tatsache, dass der raschen und verblüffend eng vom Temperaturanstieg abhängenden **Raumluftfeuchteabsenkung** völlig andere zeitliche Abläufe in den Bau- und Ausstattungsmaterialien gegenüberstehen, was unter anderem wieder auch mit deren speichernder Wirkung zusammenhängt, worüber ebenfalls noch gesprochen werden muss.

Setzt man nun voraus, dass ein Denkmalpfleger bereit ist, diesen Sachverhalt zu akzeptieren, steht gerade er vor dem Problem, dass ihn seine Aufgeschlossenheit für fachfremde Wissensgebiete in größere Schwierigkeiten bringt als jenen Kollegen, der nichts mehr dazu lernen mag. Es wurde schon die starke Verschmutzung der – für uns! – so unüblich beheizten Kirchen angesprochen, die selbstverständlich auch unter dem Aspekt des dort deutlich höheren Einsatzes von Opferkerzen beurteilt werden muss. Sie weist aber auf einen leider naturgesetzlichen Zusammenhang hin zwischen der Temperatur der Raumluft und der historischen, nicht gedämmten Raumschale, was wiederum auch die zutreffenden Feuchtezustände beeinflusst: Jedes stoßweise Beheizen der Raumluft schafft unmöglich ein „Aufheizen“ der Raumschale, die deshalb, wesentlich kälter als die sie bestreichende Raumluft, wie eine Kondensationsfläche wirken muss und durch die damit bedingte Erhöhung der Feuchtigkeit auch Schmutzpartikel besser bindet (Abb. 8). Jener Denkmalpfleger sieht sich also dem Dilemma



Abb. 7. Praktischer Nachweis des „Wassergewinns“ bei falscher Lüftung zur falschen Zeit.



Abb. 8. Starke Verschmutzung der Raumschale infolge zu kalter Wandoberfläche, verdeutlicht am Unterschied des geringen Verschmutzungsgrads im Bereich der angebauten und damit „wärmenden“ Sakristei.

gegenüber, zwischen zwei Übeln wählen zu müssen, nämlich zwischen jenem des schonenderen stoßweisen Beheizens und einem, die Verschmutzung der Raumschale vermindern den ständigen Temperieren zur Erhöhung der Temperatur in eben dieser Raumschale.

Wie eng diese Vernetzung zwischen Raumklima, Nutzung und Schaden ist, mag noch ein Beispiel zeigen: In einem kirchlichen Festsaal höchsten Ranges (Ingolstadt, Maria de Victoria, Gebrüder Asam) hält die Stadt winterliche Konzerte ab. Der Saal wird durch Verbot der Denkmalpflege nicht beheizt, doch folgt die Stadt auch nicht der dringenden Empfehlung, im Winterhalbjahr auf Konzerte zu verzichten. Die Konstruktion ist bauzeitgemäß leicht; der Saal ist beidseitig befenstert, die Subkonstruktion immerhin einseitig.

So darf die gesamte Raumschale dieser Kirche in ihrem Wärmedurchgang, aber vor allem auch bezogen auf ihren Luftwechsel zumindest bauphysikalisch als „außergewöhnlich dünn“ bezeichnet werden. Praktisch heißt dies: In „Maria de Victoria“ entspricht der Raumklimaverlauf weitestgehend dem Außenklima, und die Raumklimadaten passen sich den Außenwerten rasch und eng an.

Schon die äußerst einfachen Messungen (Abb. 9) während des Weihnachtsatoriums zeigen ein verheerendes Ergebnis, das zu dokumentieren allerdings gar keiner Messung bedurft hätte, denn bereits etwa eine Stunde nach Konzertbeginn steht Wasser auf den Fußbodenplatten. Der Grund für diesen Effekt liegt darin, dass mit Rücksicht auf das Wohlbehagen der Musiker und Besucher nur auf den Verlauf der *Raumlufttemperatur*, nicht aber auf den der *Material- und Oberflächentemperaturen* geachtet wurde. Will man bei Beibehaltung der an sich hier völlig unpassenden Nutzung das – zumindest technisch – Richtige tun, muss der Raum behutsam auf solche Weise beheizt werden, dass seine Oberflächentemperaturen leicht, aber auf Dauer und nicht nur instationär während einer Veranstaltung angehoben werden, was nicht nur der Raumschale, sondern vor allem auch der wertvollen Holzausstattung nutzt. Die wenigen kleinen elektrischen „Öfchen“, die man verstohlen den Musikern gönnte, haben die Situation kaum beeinflusst.

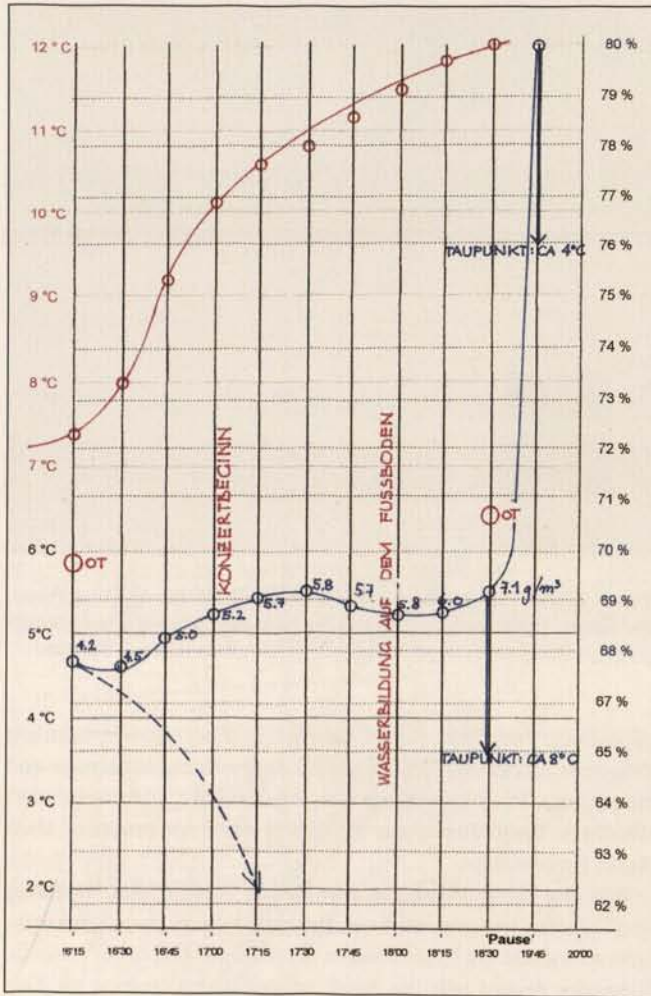


Abb. 9. Zusammenstellung einfachst gewonnener Messdaten in einem zur Winterzeit völlig übernutzten Raum.

Die Zahlen und Kurven der nächsten Spalte belegen den Belastungsverlauf. Kurz nach 16 Uhr waren nur wenige Musiker im Raum und es brannten auf dem Spielpodest auch noch nicht die einzelnen kleinen Öfchen, so dass man davon ausgehen kann, dass vor Beginn dieser ganzen Veranstaltung die Raumtemperatur nur um wenige zehntel Grad unter dieser ersten gemessenen von 7,5°C lag. Nach Öffnen der Türen für die bereits wartenden Besucher stieg die Temperatur sehr rasch an, um dann langsam im Verlauf des Konzerts bis zur Pause abzuflachen.

Die am selben Ort gemessenen *relativen* Luftfeuchtwerte, die sich eigentlich wie die gestrichelte blaue Linie hätten entwickeln müssen, wenn es nicht eine zusätzliche Feuchtequelle gäbe, halten sich während der Veranstaltung in den vergleichsweise unüblich engen Grenzen von etwa 68 bis 69%, was belegt, dass der dem Temperaturanstieg entsprechende Luftfeuchteabfall aufgefangen wird durch die Feuchteabgabe über Desorption und vor allem der Personen: zumindest während dieser ersten drei Teile des Weihnachtsoratoriums war die Kirche brechend voll; es mussten noch weitere Stühle hereingetragen werden und auch die barocken, an sich nicht zur Nutzung freigegebenen „Professorenstühle“ waren dicht besetzt.

Den tatsächlichen Anstieg der Luftfeuchte, also das Anwachsen der absoluten Luftfeuchte, zeigen jene Zahlen, die neben die einzelnen Messwerte geschrieben wurden; es ist dies die *absolute Feuchte*, also der Wassergehalt der Luft in Gramm je

Kubikmeter Raumluft. Es ist ausschließlich dieser Wert und nicht die *relative Feuchte*, der Auskunft darüber gibt, wann mit einer Feuchtebelastung der Raumschale oder Ausstattung zu rechnen ist – und es ist dies dreifach angegeben:

- Die Wasserbildung am Fußboden beginnt eine knappe Stunde nach Konzertbeginn, und man kann davon ausgehen, dass sich dieser bauphysikalische Effekt auch in verschiedenen Bereichen der Wand- und Deckenkonstruktion einstellt, zumal die Dachraumtemperatur noch um einige Kelvin unter jener des Kirchenschiffs lag; einer vergleichbaren Belastung wird die hölzerne Ausstattung unterworfen.
- Zu Beginn der Pause liegt der Taupunkt bei circa 8°C, was bedeutet, dass in allen Oberflächen, aber auch in der Materialtiefe Wasser in flüssiger Form ausfällt wie zum Beispiel in der Fensterlaibung, deren Oberflächentemperatur – roter Kreis mit Bezeichnung OT – zu Beginn der Messung und zu Beginn der Pause erfasst wurde. Die starke Abkühlung in Folge der über eine Stunde während der Pause offen stehenden Tür brachte zusätzlich auch ein „Abtrocknen“ durch Lüftung: man muss hierzu wieder die absoluten Werte von 7,1 g/m³ um 18 Uhr 30 und 5,2 g/m³ um 19 Uhr 45 vergleichen.
- Es wird hier wieder deutlich, wie wenig letztlich der Verlauf der relativen Luftfeuchte für die Beurteilung des Raumklimas aussagt, denn man erkennt, wie die blaue Linie, die den Verlauf der relativen Luftfeuchte während der Messdauer angibt, im Zuge der Abkühlung nach oben schnell, und trotzdem zu diesem Zeitpunkt – 19 Uhr 45 – der Taupunkt in einen wesentlich „ungefährlicheren“ Bereich absinkt, nämlich auf etwa 4°C, während er im Verlauf des Konzerts doch bei circa 8°C lag.

Zieht man nun noch die Außentemperaturen heran, die zu Konzertbeginn bei etwa 3°C lagen, dann lässt sich noch einmal voraussagen, um wie viel verheerender die Feuchtebelastung dann sein muss, wenn einer solchen Veranstaltung, anders als in diesem Fall, kalte Tage vorausgehen, also die Temperaturen der Oberflächen und in der Konstruktion nochmals tiefer liegen werden.

So muss diese Haltung, Konzerte zuzulassen, aber einen Heizungseinbau zu verbieten, *zwangsläufig und sehr rasch* zu schweren Schäden führen: es wurde Zweierlei verknüpft, was nicht vereinbar ist. Die Lösung:

- Entweder Verbot winterlicher Konzerte, also öffentlicher Nutzung,
- oder Erlaubnis des Einbaus einer Heizung, die eine leichte, aber kontinuierliche Anhebung der Raumlufttemperatur und damit der Oberflächentemperaturen erlaubt.

Ich gehe in diesem Beispiel nicht darauf ein, wie diese Heizung aus anderen Gründen – äußerst empfindliche Ausstattung – zu beurteilen ist. Eine verträglichere Lösung wurde jedoch vorgeschlagen, obwohl hier einem konsequenten winterlichen Nutzungsverbot deutlich der Vorzug zu geben wäre.

⁴ ARENDT, (Anm. 1), 1993; Walter BECK, Manfred KOLLER, Probleme der Heizung in historischen Bauwerken Österreichs, in: Restauratorenblätter Band 5, Wien 1981, S. 79–102; Axel PFEIL, Kirchenheizung und Denkmalschutz. Wärmebedarf, Feuchtehaushalt, Heizungssysteme, Wiesbaden und Berlin, 1975.

4. Heizsysteme⁴

Von diesem Problem aus kann nun auch endlich auf die haustechnischen Möglichkeiten der unterschiedlichen Beheizungsarten eingegangen werden: Sieht man von der jeweiligen Einbauzahl ab, sind in solch großen Räumen alter Bauart alle konventionellen Heizungssysteme mit Einzelheizkörpern möglich, zusätzlich noch Flächenheizungssysteme, die in Kirchen üblicherweise nur als Fußbodenheizungen ausgeführt werden, und Warmluftheizungen oder auch Kombinationen hiervon sowie die spezielle Bankheizung.

Bei der Beheizung mit **Einzelheizgeräten**, seien es Radiatoren, Konvektoren, Heiztrühen, ist es erlaubt zu pauschalieren: Sie taugen üblicherweise nicht für diese Art der Beheizung, da die Wärmeabgabe pro Zeiteinheit und Heizfläche zu hoch sein muss, um einen entsprechenden Temperaturanstieg in derartig großen Räumen zu bewirken. Sie können deshalb zu Recht in der weiteren Betrachtung außer Acht gelassen werden. Vergleichbares, wenn auch nicht Gleiches gilt für **Strahler**. Sinnvoll werden sie dort eingesetzt, wo tatsächlich nur kurzfristig ein eng begrenzter Bereich erwärmt werden soll wie die Musiker beim Schlosskonzert, der Pfarrer auf der Kanzel oder am Altar; Chor oder Orgelspieler auf der Empore.

Für die **Bankheizung** gilt, dass sie tatsächlich eine feste Bestuhlung voraussetzt, und somit in vielen Fällen aus Nutzungsgründen nicht angewandt werden kann. So wird heute bereits auch in manchen katholischen Kirchen eine freie Bestuhlung gewünscht; es gibt Gotteshäuser, die außer kultischen Zwecken auch anderen kulturellen Veranstaltungen mit wechselnder Bestuhlung dienen; in Schloss- und Ratssälen und ähnlichem ist eine Bestuhlung ohnehin üblicherweise nicht festgelegt.

Die **Bodenheizung** – haustechnisch richtiger „Flächenheizung“ benannt – kann in ihrem Aufbau allen gängigen Systemen entsprechen; zusätzlich wird sie in solchen Räumen vergleichsweise häufig auch mit Warmluft betrieben, da hier die Konstruktionshöhe nicht derartig ins Gewicht fällt wie im Geschossbau. Ein gleichartiges Heizsystem mit im Prinzip identischer Verlegung der Heizschlangen ist die **Wandheizung** (Abb. 10), die



Abb. 10. Typisches Detail einer ausgereiften Wandflächenheizung: es entspricht fast in allem den bekannten üblichen Fußbodenheizsystemen.

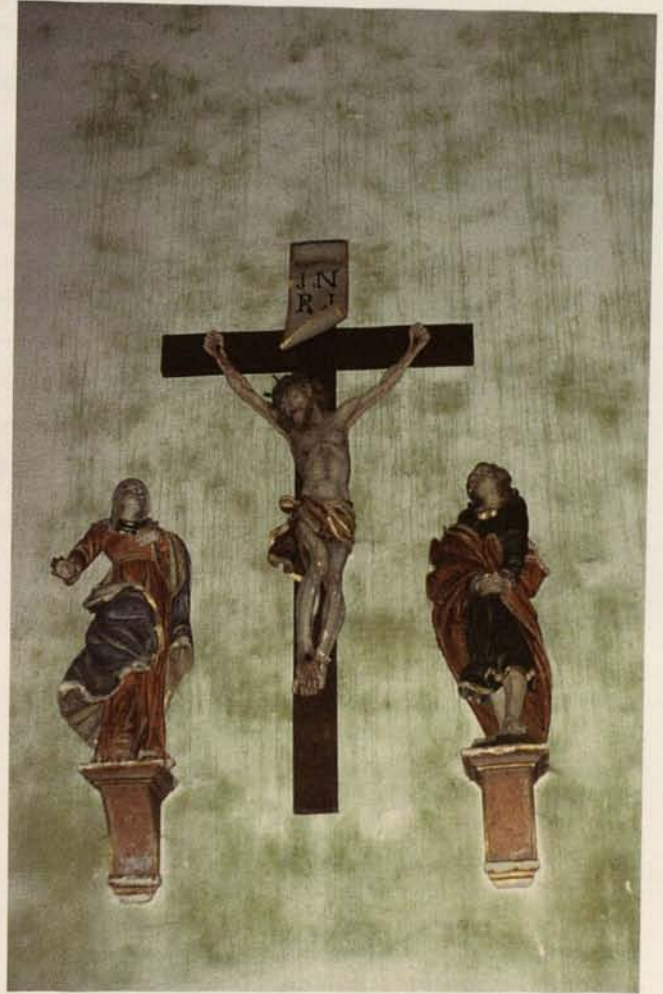


Abb. 11. Schwere, ausschließlich kondensatbedingte Schäden an Raumschale und Ausstattung.

allerdings für diesen Anwendungsfall so gut wie unbedeutend ist, da ihr systembedingter Aufbau formal entweder zu sehr störte – Sockelbildung wegen Einbaustärke – oder ein flächiges Abstemmen der historischen Wand von einigen Zentimetern verlangte. Ebenfalls als Flächenheizung zu bezeichnen ist der Versuch, durch ein oder auch durch mehrere im Wandbereich verlegte Heizrohre eine möglichst umlaufende Temperierfläche zu erhalten, worauf gesondert eingegangen wird.

Die Systeme der **Warmluftheizung** reichen schließlich von der alten und in besonderen Fällen durchaus auch altbewährten Schwerkraftheizung bis hin zu Systemen, bei denen die Wärme platzsparend mit Warmwasser bis zum Ort des Ausblasens geleitet und in Warmluft umgewandelt wird; man spricht dann von Wärmestationen.

Eine **Regelung** ist bei all diesen genannten Systemen möglich, ihre Sinnfälligkeit wächst jedoch mit der Beeinflussung der Temperatur der gesamten Raumluft sowie der Schwerfälligkeit im Regelverhalten. Auch hierauf wird noch eingegangen werden.

Es gibt mehrere Standpunkte, von denen aus eine Kirchenheizung beurteilt werden kann. Vorauszusetzen ist, dass es *kein* System gibt, auch nicht theoretisch, das für jeden Zweck als gleich gut und insgesamt optimal bezeichnet werden darf. Es gibt bestenfalls eine Reihenfolge der genannten drei Heizungsgruppen, in die jedoch auch bereits einige subjektive Argumente einfließen.

Heizsystem	Kosten		Erwärmung		Kondensatvermeidung	sinnvoll regelfähig	Raumluft	
	Einbau	Betrieb	Raumschale	Raumvolum.			Frischlufte	Reinigung
Einzelheizung	(X)	(X)						
EL-Bankheizung	x	X						
WW-Bankheizung		x	x	x		X		
Fußboden-Heizung		x		(x)	x			
Wand-Heizung	(x)				x			
Bauteil-Heizung	X				X			
WL-Heizung konvent.			X	X	x	X	X	x
WL-Heiz. mit Stationen			X	X	X	X	x	X

Abb. 12. Hauptvorzüge der einzelnen Kirchenheizungssysteme: in der Praxis bedarf eine derartige Auflistung der objektbezogenen Wertung und Gewichtung; bei „Kosten“ werden stets die systemspezifisch sinnvollste Projektierung und Heizweise vorausgesetzt (x = *üblicherweise* günstigste Lösung für dieses Kriterium; () = hohe Variationsbreite dieses Kriteriums).

4.1. Allgemeines

Geht man von einer Nutzung aus, wie sie am ehesten in einer Kirche zu finden ist, der festen Anordnung von Sitzplätzen, dann hat jede Kirchenbankheizung den unbestreitbaren Vorteil, tatsächlich nur die Gläubigen zu erwärmen, nicht aber den Raum. Aus energetischer Sicht ist diesem Vorzug nichts entgegenzusetzen, gewichtige Gründe jedoch wegen der schon beschriebenen Abhängigkeit der Temperaturen von Raumluft und Raumhülle. Ähnliches gilt für die Fußbodenheizung, deren Aufgabe es auch „nur“ ist, den Bereich, in dem die Gläubigen sich aufhalten, zu erwärmen. Hier muss jedoch schon auf die Systeme eingegangen werden, da der Vorzug der kurzfristigen Beheizung nur zu Zeiten der Nutzung desto eher zurücktritt, je schwerfälliger dieses Heizsystem ist. Die leider immer noch propagierte elektrische Speicherheizung als Fußbodenheizung büßt den genannten Vorzug gegenüber anderen und rascher wirksamen und regelbaren Fußbodenheizungssystemen völlig ein und darf deshalb ebenfalls verallgemeinernd abgelehnt werden, auch wenn sie über Jahre in einem der Bundesländer hoch favorisiert wurde. Als sonst recht unübliches Fußbodenheizungssystem spielt hier die Warmluftheizung nach dem Prinzip einer Hypokaustenheizung eine Rolle.

Der Vorzug der Bankheizung und der „guten“ Fußbodenheizung beinhaltet auf den ersten Blick gleichzeitig den Nachteil jeder Luftheizung: Sie kann die Gläubigen nur dadurch erwärmen, dass die Luft durch eine möglichst gute Verteilung gleichmäßig im Raum erwärmt wird. Abbildung 12 „Hauptvorzüge der einzelnen Kirchenheizungssysteme“ gibt als Anhaltspunkt einen sehr pauschalen Hinweis, wie er einer statistischen Auswertung entspräche: Für das einzelne Baudenkmal taugt eine solche Auflistung nur dann, wenn tatsächlich alle gebäudespezifischen Besonderheiten mit berücksichtigt werden (Abb. 12).

Wiederum ausgehend von den beschriebenen und prinzipiellen Hauptfaktoren jeder „Kirchenheizung“ muss nochmals auf Nachteile und Vorzüge dieser gesamten Raumerwärmung eingegangen werden. Es ist eine durch diese Forschungsarbeit belegte und vor Ort überall feststellbare Tatsache, dass sowohl die instationäre, also stoßweise Beheizung, als auch die in ihrer Wirkung örtlich begrenzte (Bankheizung, Fußbodenheizung, Wandheizung) eine ungleiche Erwärmung der Raumschale bedingen. Sieht man von jenen Fällen ab, wo es, bedingt durch diese Art des Heizbetriebs, zu entsprechenden Taupunkt-

unterschreitungen kommen kann, was in der Praxis gar nicht so selten der Fall ist, bleibt dieser Nachteil dann ohne Belang, wenn diese ungleiche und auch raschere Verschmutzung nicht irgendeiner erhaltenswerten Ausstattung schadet. Dieser negative Aspekt wächst oder schwindet also in seiner Bedeutung damit, wie sehr verkürzte Reinigungs- und Restaurierungsintervalle die Lebensdauer von Wand- und Deckenfresken, Gemälden und anderen Wand- und Deckenapplikationen verkürzen. Die Anfälligkeit zu diesem Schaden hängt jedoch auch von weiteren Faktoren ab; die drei wesentlichsten sind

- die *Häufigkeit der Beheizung* durch Bankheiz- und Flächenheizungssysteme
- und/oder deren *Höhe der Wärmeabgabe*
- sowie das *Volumen des Raumes* oder, korrekter, das Verhältnis von Heizfläche oder Wärmeabgabe zur Fläche der Raumhülle.

4.2. Bankheizung

Eine Bankheizung ist deshalb am negativsten zu beurteilen, weil durch sie die Raumschale so gut wie nicht erwärmt wird; außerdem wird keines der anderen Heizsysteme eine solche Staubverschmelzung und vor allem auch Staubverfrachtung bieten. Man kann also nur empfehlen, dass der elektrischen Bankheizung um so eher zugestimmt werden darf, je weniger Bankreihen davon erfasst werden, je seltener im Wochenverlauf diese Heizung in Betrieb genommen wird: Für eine kleine Filialkirche, die außer seltenen Hochzeiten und Totenmessen lediglich einen Sonntagsgottesdienst kennt, wird die Installation eines Bankheizsystems in den ersten Bankreihen für die Alten, die Kinder und die „Verfrorenen“ auch künftig die denkmalpflegerisch wie finanziell sinnvollste Lösung darstellen, es sei denn, dieser Raum ist insgesamt oder stellenweise deutlich kondensatgefährdet (Abb. 12). Da selbst der uneinsichtigste Betreiber eine Bankheizung aus Kostengründen kaum als Raumheizung missbrauchen werden wird, fällt auch jenes negative Argument weg, das leider für jedes – und auch gute! – Fußboden- oder Warmluftheizungssystem gilt: Es können sich Denkmalpfleger, Restaurator, Projektant und ausführende Firma noch so sehr bei Planung und Ausführung anstrengen, die Schadensträchtigkeit bestimmt weitgehend der Nutzer.

Ein weiterer und eklatanter Nachteil ist der Bankheizung eigen: Da die Heizflächen auf die Bankreihen beschränkt sind, entsteht bei Betrieb eine ungewöhnlich starke und flüchtig begrenzte Thermik, die noch durch Wärme- und Feuchteabgabe der Sitzenden verstärkt wird. Diese Luft muss nach oben strömen; sie teilt sich am Gewölbe und fließt an den Seitenwänden wieder zu Boden. Bei dieser Bewegung gibt sie einen Gutteil der Luftfeuchte an die kalten Raumschließungsflächen ab und bewirkt überdies ein ebenso spürbares Nachströmen kalter Luft; es zieht stark, zumindest an den äußeren Plätzen und vor allem auch am Altar, da sich eine vergleichbare Luftwalze auch im Chor einstellt. Diesem „unerträglichen Zug“ folgt noch eine weitere Schadensursache: die Kerzen flackern und geben deshalb ein Vielfaches an Ruß ab wie bei stiller Verbrennung.

Abbildung 13 zeigt den Anstieg der Luftströmung hoch über den bankbeheizten Gestühlpodesten im Freisinger Dom bei Beheizung (Abb. 13). Während üblicherweise die Luftgeschwindigkeit zwischen 0,1 und 0,2 m/s liegt, also normalerweise gar nicht wahrgenommen werden wird, steigt sie kurz nach Heizungsbeginn – roter Strich – sprunghaft an und erreicht vertikal bis zu 2,5 m/s (3), horizontal (1) und (2) in beiden Achsen des Schiffs immer noch etwa 2,0 m/s. Nicht nur am Altar und in den Kirchenbänken wird dies deutlich auffallen; es müssen auch die Kerzen flackern und deshalb stärker rußen – und jeder zusätzliche Staub, aber auch die durch die Besucher eingebrachte Feuchte wird „wirkungsvoll“ über die kalte Raumschale zur besseren Schmutzhaftung verteilt.

Unter „Bankheizung“ werden immer noch die seit langem üblichen elektrischen Heizgeräte mit Glühstab oder -wendel verstanden; dies ist zweifach falsch. Zum eine gibt es seit mindestens fünfzehn Jahren so genannte Dunkelstrahler – eingebaut auch im Freisinger Dom! –, also elektrische Heizkörper, die lediglich eine Oberflächentemperatur von etwa 80°C erreichen, sodass die Staubverschmelzung entscheidend reduziert ist. Anschlusswert und Steuerung beider Strahlertypen sind identisch; es wird jedoch später unter „Regelung“ auf eine völlig neuartige Möglichkeit der Steuerung eingegangen, die es nun erlaubt, durch diese regelungstechnische Nachrüstung den entscheidenden Schadensfaktor zumindest zu verringern.

Zum anderen kann eine Warmwasserbankheizung die Funktion der elektrischen Bankheizung – Erwärmung der Kirchenbesucher – voll übernehmen und bietet zudem noch den hier völlig unüblichen Vorzug, wegen der deutlich günstigeren

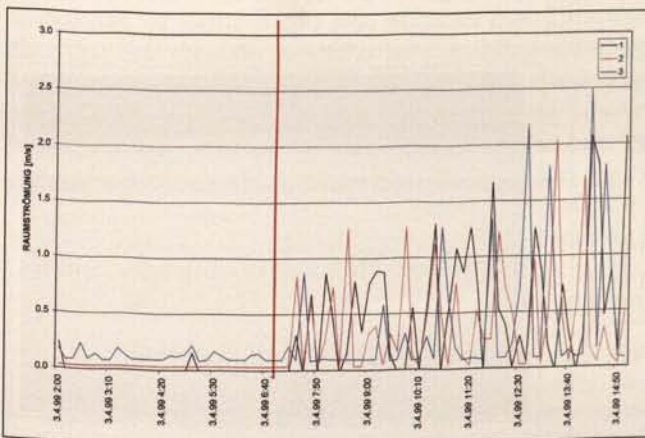


Abb. 13. Freising, Dom: Aufzeichnung der Messdaten über Luftgeschwindigkeitsänderungen unmittelbar nach Inbetriebnahme der Bankheizung.

Energiekosten auch zur Erwärmung der Raumschale beizutragen und damit den Hauptnachteil jeder herkömmlichen Bankheizung zu vermeiden: die stark überhöhte Verschmutzung. Diese Warmwasserheizung bietet zudem den Vorzug einer gleichmäßigeren Wärmeverteilung als die durch elektrische Bankheizsysteme möglich wird: im Chor, auf Emporen, in Vorhallen können zusätzliche Heizkörper aufgestellt werden und dies – was fast immer entscheidend ist – ohne inakzeptable formale Beeinträchtigung, da es inzwischen ausreichend viele Varianten kleiner oder flexibler, sogar einbaufähiger Warmwasserheizkörper gibt. Bei Verwendung eines zusätzlichen Mischers kann diese Warmwasserheizung auch Rohrschlangen in kondensatgefährdeten Bauteilen wie Raumecken oder Sockel bedienen, oder auch begrenzte Flächenheizungen wie den Bereich am Volksaltar oder die Wandseite rückseitig offener Beichtstühle.

Unter den Bänken haben sich auch optisch am besten bewährt kleine Gussradiatoren oder waagrecht verlegte Platten, die bei entsprechender Dimensionierung nicht oder kaum mehr sichtbar sind.

Diese Lösung ist also als preiswerter Kompromiss zwischen der üblichen elektrischen Bankheizung und der zwingenden Voraussetzung einer regelbaren und gut verteilten Wärmeabgabe zu sehen. Die kleinstformatigen Heizkörper in gesamter Banklänge übernehmen sowohl die indirekte Raumerwärmung wie die direkte der Kirchenbesucher und können hierzu auch mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen gefahren werden. Bei entsprechend stationärem Betrieb und bei Kirchen mittlerer Größe, baut sich auch über dieses Heizsystem die wärmetechnisch notwendige Erfassung der gesamten Raumschale auf; regelungstechnisch gibt es keine Nachteile zu Warmluftsystemen, doch muss bei Bedarf eine zusätzliche Lüftung eingebaut werden, die zumindest konventionelle Warmluftsysteme ohnehin bieten können.

4.3. Fußbodenheizung

Ein wesentliches Argument bei Fußbodenheizungen ist das Verhältnis von Heizfläche zu Hüllfläche des Raumes. Man wird also eine Fußbodenheizung auch weiterhin desto eher und schärfer ablehnen müssen, je größer die Differenz der genannten Größen ist und – dies nur im Zusammenhang mit dem erst genannten Argument – wie hoch geheizt werden soll. Sind sich alle Beteiligten einig, dass die Fußbodenheizung lediglich einer Temperierung der bodennahen Luftschichten und damit auch einer linden stationären Beheizung dient, und wird hier die maximale Temperatur entsprechend niedrig angesetzt, verringert sich auch die negative Gewichtung dieses Arguments.

Das Problem liegt hier allerdings in der schon beschriebenen Abhängigkeit vom Nutzer, da selbst eine Fußbodenheizung, die für -18°C Außentemperatur nur auf eine Raumtemperatur von +10°C ausgelegt ist, ohne weiteres auch in der übrigen Zeit zu Raumtemperaturen bis 18°C und auch höher missbraucht werden kann. Es gibt hier eine „Lösung“, deren Attraktivität allerdings bei genauerem Betrachten schwindet: Statt einer Warmwasserfußbodenheizung, bei der die Möglichkeit der relativ freien Wahl der Vorlauftemperatur diesen Missbrauch erleichtert, wird eine elektrische Fußbodenheizung installiert und ihr Anschlusswert so niedrig gehalten, dass zur kältesten Jahreszeit tatsächlich nur Raumluftwerte erreichbar sind, wie sie noch gut

geheißten werden können; die höhere Erwärmung kann dann nur erfolgen, wenn auch die Außentemperaturen steigen, dann aber liegt das „Angebot“ an Außenluftfeuchte – und damit auch Raumfeuchte – bereits wieder im „sicheren“ Bereich, auch wird nun ein „Nachbefeuchten“, möglichst über gezielte Lüftung, risikoärmer.

Tatsächlich muss aber auch eine solche elektrische Fußbodenheizung aus Kostengründen fast immer eine Speicherheizung sein, sodass ihre Regelfähigkeit gegen Null geht: diese Systeme sind konsequent abzulehnen.

4.4. „Temperiersystem“⁴⁵

Unter dieser vielversprechenden Bezeichnung werden einige Heizungsvarianten als neu und richtungsweisend angeboten, über die bereits schon etwa 1925 ausführlich geschrieben wurde und die seit alters, wenn auch stark eingeschränkt, nur dort angewandt werden, wo ein Bauteil wegen seiner Ausführung, in seltenen Fällen auch wegen einer besonderen Belastung, zusätzlicher Wärme bedarf: eine kondensatgefährdete Wand-Boden-Ecke oder eine Fensterleibung erhält eine zusätzliche Heizschlange, ein durch Regen besonders gefährdetes Detail seine eigene, die Abtrocknung verstärkende Bauteil-Beheizung: man nimmt also bewusst einen erhöhten Energiebedarf dort in Kauf, wo damit Schäden und durch sie wiederum deutlich höhere Kosten vermieden werden können.

Statt sich auf diese altbewährte Anwendung zu beschränken, wurde dieses Heizsystem, euphemistisch auch „Thermische Bausanierung“ genannt, immer mehr zu einem Heizsystem mit Wunderwirkung verklärt, wohl auch, weil ihre laute Empfehlung von einer Denkmalschutzbehörde ausgesprochen wird, was die Brauchbarkeit dieser Empfehlung allerdings auch nicht anhebt. Nun soll ein Heizrohr, zur besseren Wärmeabgabe ungedämmt im Mauerwerk verlegt, die gesamte Wand zu einer Strahlungsfläche verwandeln. Tatsächlich heizt dieses Rohr zu einem guten Teil die äußere Umgebung, was winters erlaubt, an den unterschiedlichen Abschmelzvorgängen sehr gut abzulesen, wo dieses Heizsystem eingebaut ist und wo nicht; zum anderen gehorcht auch diese Art der Wärmeverteilung den Naturgesetzen: nicht die gesamte Wand wird zur abstrahlenden Wärmequelle, sondern nur ein ausnehmend schmaler Streifen wird erwärmt, wie sich durch Infrarot-Aufnahmen verblüffend deutlich erkennen lässt (Abb. 14).

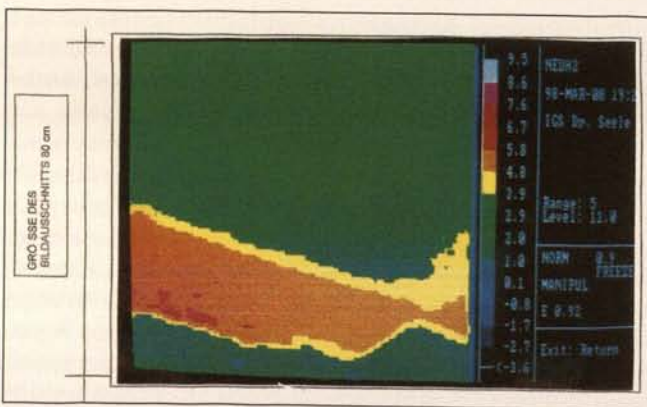


Abb. 14a. Infrarotaufnahme: Visualisierung der geringen flächigen Heizleistung und des örtlich stark erhöhten Wärmedurchgangs bei einem ungedämmt eingebauten Heizrohr (Außenseite).

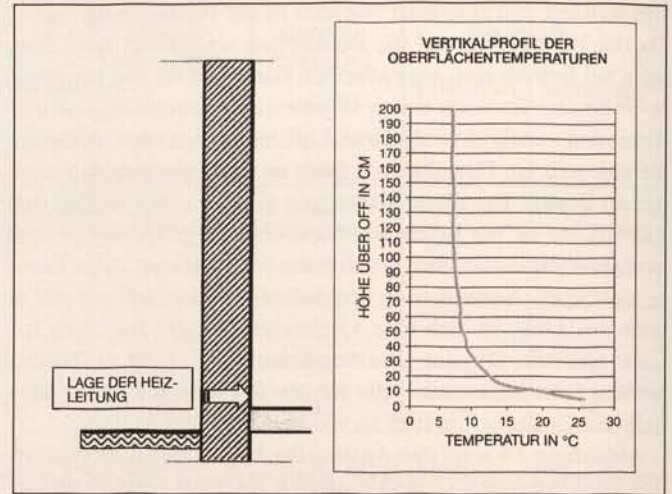


Abb. 15a-b. Graphische Darstellung der gemessenen Wärmeverteilung bei einem ungedämmt eingebauten Heizrohr: Schema (a) und Vertikales Profil der Oberflächentemperaturen (b).

Um diesen selbstverständlichen, von den Anbietern aber stets geleugneten Effekt einer ausschließlich sehr schmalen Wärmeabgabe auch qualitativ benennen zu können, wurden für eine Messung Wärmefühler in die Wand einer Kirche installiert,⁶ deren Ergebnis Abbildung 15 dokumentiert, in der die Messwerte grafisch dargestellt sind: Direkt am Rohr – circa 5 cm über Oberkante Fußboden (OFF) – zeigt die Wandoberfläche eine Temperatur von 25°C, die bis in 30 cm Höhe bereits auf 10°C zurückgeht (Abb. 15).

Dies bedeutet für dieses Heizsystem, dass kleine Räume bis zu etwa 16 m² durchaus beheizt werden können, was im übrigen auch der ersten Anwendung vor etwa 25 Jahren in einem kleinen Heimatmuseum entsprach, vor allem wenn nicht die üblichen Temperaturforderungen gestellt sind und die Außentemperatur nicht über mehrere Tage unter -10°C sinkt. Dieses Heizsystem versagt aber sofort, wenn einer dieser Faktoren nicht gegeben ist, bei Kirchen schon grundsätzlich wegen deren Größe.

Abbildung 16 zeigt den notwendigen Wärmebedarf und die tatsächliche Heizleistung dieses Heizsystems: In allen gelb markierten Anwendungsfällen wird das Versprochene deshalb bei weitem nicht erreicht (Abb. 16). Die technische Konsequenz

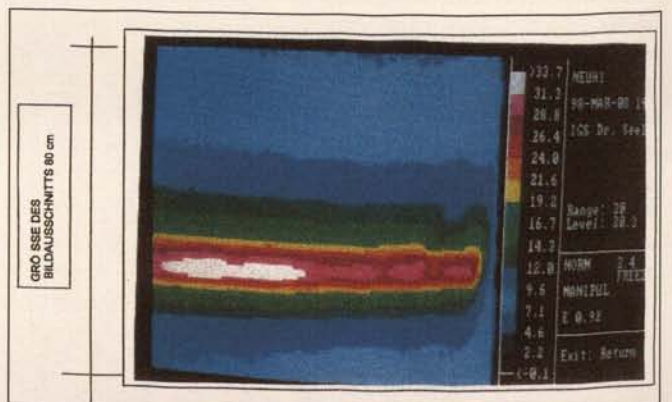


Abb. 14b. Infrarotaufnahme: Visualisierung der geringen flächigen Heizleistung und des örtlich stark erhöhten Wärmedurchgangs bei einem ungedämmt eingebauten Heizrohr (Innenseite).

Raum-/Gebäudetyp	Temperaturannahmen	Transmissions-Wärmeverlust	Lüftungs-Wärmeverlust	Gesamter Wärmebedarf	Wärmeleistung
Kleiner Wohnraum	-10/+20 °C	390,3 W	229,5 W	619,8 W	1.280 W
	-10/+18 °C	364,2 W	214,2 W	578,4 W	
	0/+20 °C	260,2 W	153,0 W	413,2 W	
Kleiner Versammlungsraum	-10/+20 °C	1.522,2 W	612,0 W	2.134,2 W	2.000 W
	-10/+18 °C	1.420,7 W	571,2 W	1.991,9 W	
	0/+20 °C	1.014,8 W	408,0 W	1.422,8 W	
Großer Versammlungsraum	-10/+20 °C	3.922,5 W	2.065,5 W	5.988,0 W	3.600 W
	-10/+18 °C	3.661,0 W	1.927,8 W	5.558,0 W	
	0/+20 °C	2.615,0 W	1.377,0 W	3.992,0 W	
Kleine Kirche	-10/+10 °C	25.231,0 W	5.100,0 W	30.331,0 W	4.960 W
	0/+10 °C	13.493,0 W	2.550,0 W	16.043,0 W	
Mittelgroße Kirche	-10/+10 °C	38.299,0 W	10.200,0 W	48.499,0 W	6.080 W
	0/+10 °C	20.378,0 W	5.100,0 W	25.478,0 W	
Große Kirche	-10/+10 °C	85.693,0 W	34.000,0 W	119.690,0 W	8.400 W
	0/+10 °C	45.655,0 W	17.000,0 W	62.655,0 W	

Abb. 16. Tabelle: Rechnerischer Vergleich zwischen Wärmeleistung und Wärmebedarf bei umlaufend verlegtem Heizrohr entsprechend „Temperiersystem“.

hieraus ist eine Vervielfachung der Heizleitungen, also mehrere Stränge übereinander, was den Sockel tatsächlich ausreichend gut in eine umlaufende Flächenheizung verwandeln kann, nun allerdings mit dem in vielen Baudenkmalen inakzeptablem Nachteil eines massiven Eingriffs in den Bestand, auch in die Wände, nicht nur in den Putz.

Eine sehr fundierte Aussage über die Anwendungsgrenzen – Kondensation – und die Unmöglichkeit einer ebenfalls immer wieder versprochenen Anwendung gegen aufsteigende Feuchte bietet Kilian.⁷

4.5. Warmluftheizung

Die Luftheizung kann ihre wärmende Wirkung nur auf andere Weise entfalten; sie muss die gesamte Raumlufte erwärmen und mit ihr die gesamte Raumschale – und diese so, dass ihre systembedingten Nachteile möglichst gering ins Gewicht fallen. Hierzu zählt vor allem die Verteilung der Wärme durch Luft, die gleichzeitig auch Träger von Schmutzpartikeln ist. Dies heißt also, dass eine möglichst gute Warmluftheizung die Wärme bei möglichst geringer Luftbewegung im Raum verteilen muss. Dies setzt zum einen eine optimale Verteilung der Ausblasöffnungen voraus und verbietet gleichzeitig jeglichen Stoßbetrieb, da hierfür wieder eine möglichst hohe Lufttemperatur und eine ebenfalls möglichst hohe Ausblasgeschwindigkeit Voraussetzung wären. Gleichzeitig werden alle anderen Möglichkeiten der Schmutzverteilung von Bedeutung: erlauben beispielsweise die örtlichen Gegebenheiten nur eine Lage der Ausblasöffnungen im Bereich der Zugänge, so ist dies negativ für die Warmluftheizung zu werten, ebenso der tatsächlich nutzungsabhängige Gebrauch von Kerzen, die man besonders in

Wallfahrtskirchen oder aber auch in Schloss-Sälen bei „Kerzenlicht“-Konzerten findet. In beiden Fällen können entsprechende Filter den Nachteil wieder mildern, doch entspricht leider deren Beurteilung aus funktioneller Sicht keineswegs der aus praktischer. Eine Kontrolle der Wirksamkeit von Filtermatten zeigt sehr häufig, dass der mit dem Wechseln und Reinigen Beauftragte entweder zu faul oder zu unwissend ist, um die nötigen Reinigungsintervalle einzuhalten; außerdem muss die rußgeschwängerte Luft erst einmal durch den Raum fließen, um bei „Wiederverwendung“ als Umluft einen Filter zu durchströmen.

Ein grundsätzlicher Nachteil der üblichen Warmluftheizung liegt im starken Querschnitt ihrer Kanäle und damit im Eingriff in Subkonstruktionen und Vorgängerbauten. Diesen Nachteil verringert entscheidend jenes Warmluftsystem, bei dem die Wärme durch Warmwasser verteilt wird. Nun werden in Kanälen kleiner Querschnitte die notwendigen Warmluftstationen mit Warmwasserleitungen angefahren, die jeweils Wärmetauscher, Ventilator und gegebenenfalls Filter besitzen und im Boden versenkt werden (Abb. 17). Gute Systeme sind als Baukasten aufgebaut, was einen späteren Austausch einzelner Komponenten erleichtert und verbilligt.

Wird die möglichst gleichmäßige Erwärmung der Raumschale zur Verminderung der Verschmutzung oder zumindest zur Vermeidung der optisch auffallenderen ungleichen Verschmutzung als ein Hauptargument beurteilt, bietet allein die Warmluftheizung diesen Vorteil. Dieser Vorteil kann jedoch nicht nur, wie schon in zwei Beispielen beschrieben, durch Besonderheiten verringert, ja sogar ins Gegenteil verkehrt werden, er ist auch wiederum nach den baulichen Gegebenheiten, hier vor allem der Kubatur des Raumes, zu beurteilen. Dieser Vorteil wird umso stärker wirken, je größer der Raum ist oder aber auch wieder korrekter, je ungünstiger für ein Fußbodenheizungssystem das schon genannte Verhältnis von Heizfläche zu Hüllfläche beziehungsweise Kubatur ist.

Da es mit Sicherheit teurer ist, die gesamte Raumschale ständig zu temperieren, statt nur während weniger Stunden die Gläubigen durch eine Bankheizung zu erwärmen, spielt auch wieder die Nutzungsfrequenz eine entscheidende Rolle. Neben der Größe des Raumes gehört zur Beurteilung eben auch wieder die Häufigkeit an Gottesdiensten, Hochzeiten, Konzerten, Sitzungen und ähnlichem. Zumindest für Kirchen gilt etwas verallgemeinernd, dass die großen Bauten einer Gemeinde meist auch wesentlich stärker genutzt werden, doch ist dies



Abb. 17. Einbau einer im Boden versenkten Wärmestation: nach Abschluss der Bauarbeiten bleibt nur noch die Gitterfläche mit etwa einem Drittel der Gerätegrundfläche sichtbar.

⁵ Ralf KILIAN, Die Wandtemperierung in der Renatuskapelle in Lustheim: Auswirkungen auf das Raumklima, München 2004; Claus ARENDT, G. HAUSLADEN, Thermische Bausanierung: Vom Sinn und Unsinn einer amtlichen Empfehlung zur Beheizung und Trockenlegung von Gebäuden, Haustechnische Rundschau 2, Februar 1992.

⁶ Claus ARENDT, Modernisierung alter Häuser, München 2003.

⁷ KILIAN (Anm. 5), 2004.

eben auch nur eines von mehreren Argumenten, so dass doch nur wieder von Fall zu Fall entschieden werden kann.

Der *konventionellen Warmluftheizung mit Luftkanälen* wird oft nachgesagt, durch stärkere Staubaufwirbelung eine Verschmutzung zu bedingen, doch hängt dies auch hier nicht ab vom System, sondern allein von der Ausblastemperatur und der Ausblasgeschwindigkeit. Es werden deshalb genügend Auslässe, davon meist einer im Chor, und wenigstens einer für Rückluft nötig. Die äußeren Kanaldurchmesser betragen überschlägig: für den Hauptkanal 1,6 m², für die Nebenanäle 1,0 m², wobei zumindest im Chor manchmal auch nochmals aufgeteilt werden sollte. Eine regelungsabhängige Steuerung der Warmluftspende der einzelnen Auslässe ist zwar möglich, aber nicht nötig und deshalb vom Aufwand her nicht gerechtfertigt.

Da mit Luft und nicht mit Warmwasser gefahren wird, kann das gesamte Kanalnetz wie auch der Ventilator ebenso für den sommerlichen Lüftungsbetrieb genutzt werden, sodass die Mehrkosten für diese funktionale Erweiterung kaum ins Gewicht fallen.

Statt mit Warmluft wird bei der *Warmluftheizung mit Wärmestationen* die Heizenergie mit Warmwasser transportiert und erst am Ort der Luftauslässe über Wärmetauscher in Warmluft umgewandelt, wozu einzelne Wärmestationen installiert werden, die jeweils zum Wärmetauscher unter anderem auch Filter und Ventilator beinhalten. Da Wasser ein Vielfaches an Energie transportieren kann wie Luft, verringert sich der Kanalquerschnitt erheblich: einschließlich Ummantelung und schützendem Kanal beträgt der Querschnitt nur noch etwa 0,1 m². Dies erleichtert auch das Anfahren und die Verteilung der einzelnen Wärmestationen, was im übrigen bei schützenswertem Bodenbelag auch von außen her durch mehrere Meter lange Bohrungen geschehen kann. Die Größe solcher Wärmestationen ist abhängig von der Leistung und damit ihrer Zahl, auch differieren hier die angebotenen Systeme stark; im Mittel kann mit einem baulichen Eingriff von 180/120/120 cm gerechnet werden; für Sonderfälle gibt es auch liegende Geräte mit deutlich verringerter Einbauhöhe.

Da mit Warmwasser gefahren wird, ist eine Regelung der Wärmeabgabe sowohl über diese Vorlauftemperatur möglich wie auch über die Ventilatorleistung, sodass Wärmestationen auch einzeln regelbar sind, ein Vorzug, der zum Beispiel in vielgestaltigen spätbarocken Kirchen zum Tragen kommt.

4.6. Zusammenfassung

Es wurde hoffentlich deutlich, dass es nicht "das beste Heizsystem" gibt, obwohl – wieder statistisch gesehen – durchaus eine Brauchbarkeits-Reihenfolge aufgestellt werden könnte, die aber niemandem im konkreten Fall nützt. Es wird zwingend nötig, die im einzelnen aufgezeigten Faktoren für jedes Baudenkmal neu zu gewichten und vor allem auch die für das jeweilige Objekt notwendige Regelung zu beachten; in seltenen Fällen wird auch die Möglichkeit mit oder über die Heizung zu lüften, ausschlaggebend sein.

Abbildung 18 zeigt, dass mancher Vorzug in einem Bereich zwangsläufig mit einem Nachteil im anderen verbunden ist, dass also kein Heizungssystem alle Kriterien gleichgut oder wenigstens ausreichend gut befriedigen kann (Abb.18). Außerdem verlangt auch das Lesen einer solchen tabellarischen Auf-

Heizungsart Kriterium	Einzelheizung	Bankheizung			Flächenheizung		Warmluftheizung	
		el. konv.	el. dkl.	WW	WW Fb	WW Wand	konv.	Station
Volumen: Kapelle	x	x	xx	xx	xxx	xx	()	()
Volumen: Kirche	o	o	x	xx	xx	x	x	x
Volumen: Dom	o	o	(x)	x	x	o	xx	xxx
Nutzungsichte ↑	o	o	x	xx	xx	x	xx	xx
Nutzungsichte ↓	x	x	x	xx	x	x	x	x
Heizweise: stationär	o	o	o	x	x	x	xx	xxx
Heizweise: instationär	x	x	xx	xx			(xx)	(xxx)
Denkmalschutz: (Einbau) Ausstattung	xxx	xx	xx	xx	x	x	xx	xx
Denkmalschutz: (Einbau) Raumschale: Fb	xxx	x	x	x	o	xx	x	xx
Denkmalschutz: (Einbau) Raumschale: Wd	x	xx	xx	xx	xx	o	xxx	xxx
Denkmalschutz: (Betrieb) Raumschale: Fb	xxx	xx	xx	xx	x	xxx	xxx	xxx
Denkmalschutz: (Betrieb) Raumschale: Wd	o	x	x	xx	x	x	xxx	xxx
Denkmalschutz: (Betrieb) Raumschale: De	x	o	o	x	xx	xx	xxx	xxx
Kondensatschutz Wand/Boden	o	o	o	x	xx	xxx	x	x
Kondensatschutz Decke	o	o	o	xx	xx	x	xxx	xxx
Temperaturen: Raum	o	o	o	x	x	x	xxx	xxx
Temperaturen: Nutzer	(x)	xx	xx	xxx	xx	(x)	xx	xx
Temperaturen: gezielt	xxx	xx	xx	x	o	(xx)	o	x
Kosten: Einbau	xxx	xx	xx	x	x	xxx	x	o
Kosten: Betrieb	xx	xxx	xxx	xx	x	xx	x	x
systembedingter Wärmeverlust	()	()	()	()	x	xxx	x	o

o = unbefriedigend, schlecht, abzulehnen
x = schwach, bedingt geeignet, ungünstig
xx = mittel, geeignet
xxx = stark, gut geeignet, günstig
() = nicht zutreffend, oder fast nie zutreffend

Abb. 18. Kriterien zur Auswahl einer Kirchenheizung, Tabelle zur Eignungsfrage: deutlich wird, dass nur eine objektbezogene Kriterienauswertung sinnvoll ist.

listung die objektbezogene Brille: wenn beispielsweise die Warmwasserfußbodenheizung für einen kleinen Kirchenraum als gute Möglichkeit genannt wird, ist vorausgesetzt, dass die gesamte Bodenfläche für eine Installation zur Verfügung steht; wird die konventionelle Warmluftheizung auch unter dem Denkmalpflege-Gesichtspunkt einer Schonung der Wandflächen gut bewertet, muss die Verteilung der Warmluftauslässe deutlich gleichmäßiger projektiert werden als dies bei fast allen alten Systemen dieser Art zu finden ist.

Abbildung 19 mag hilfreich dafür sein, welche in Abbildung 18 genannten Kriterien man auf dieses eine betrachtete Objekt anwenden möchte (Abb.19).

Schäden und Klagen	„Kondensat“ Schwammbefall Algen und Schimmel in Boden-Wand-Ecke in Leibungen am Gewölbe an Fassungen starke oder ungleiche Verschmutzung Salzausblühungen Zugerscheinungen Orgelstimmung
Kosten	niedrige Erstellungskosten niedrige Energiekosten niedrige Wartungskosten
„Behaglichkeit“	für Kirchenbesucher für Aktive
Verträglichkeit	für Raumschale für Ausstattung

5. Heizweise

Die durchschnittlich „ideale“ Heizweise versucht also weniger eine gleiche Raumlufttemperatur als eine möglichst wenig schwankende Raumluftfeuchte zu gewährleisten, wobei Schwankungen im Tages- oder Wochenverlauf selbstverständlich wesentlich gefährlicher sind wie jene zwangsläufigen im Jahresverlauf.

Die *Regelfähigkeit* der Heizungsanlage ist deshalb ein weiteres und wichtiges Argument. Selbst die beste Fußbodenheizung – wie auch jede andere Flächenheizung mit stärkerer Überdeckung – unterliegt hier durch die Masse der deckenden Konstruktion *weit* der Warmluftheizung, wobei allerdings wiederum einschränkend zu sagen ist, dass die Bedeutung der Regelfähigkeit wiederum nicht nur nach technischen oder bauphysikalischen Gesichtspunkten allgemein beurteilt werden darf, sondern auch nach den örtlichen Gegebenheiten; zwei extreme Beispiele können dies verdeutlichen:

- Ein barocker Theatersaal, ringsum von Bühne, Bühnenanlage und Gängen, Garderoben, dem Foyer umgeben, ist weitgehend abgekoppelt von der Außenwitterung. Die zusätzliche Wärme- und Feuchtebelastung durch die Zuschauer liegt spielplanmäßig fest; eine Regelung kann vergleichsweise einfach diese kalkulierbaren Einflüsse berücksichtigen; (Beispiel: Erlanger Theater).
- Anders ist dies in einem Schloss-Saal, oder in einer Rokokokirche, die beidseitig, noch dazu in einer Bleiverglasung, also einfach, verglast sind: Jedes Hervorbrechen der Sonne aus den Wolken, jeder Wind stört die Wärmebilanz im Inneren, ebenso wie die Touristenströme, deren Umfang auch witterungsabhängig ist, so dass die Heizung – so sie denn tatsächlich nötig sein wird – möglichst umgehend darauf zu reagieren hat.

Auch bei den Luftheizungen gibt es in der Regelfähigkeit bedeutsame Unterschiede. Die konventionellen Luftheizungssysteme, die aus Kostengründen auch heute noch angeboten werden, kennen häufig nur eine Stop-and-go-Regelung; das heißt, der Raumthermostat schaltet den Ventilator ein und aus, so dass der Temperaturverlauf im Raum als wellenförmig, wenn auch mit sehr geringer Amplitude, bezeichnet werden kann. Bessere Luftheizungssysteme kennen bereits einen mehrstufig arbeitenden Ventilator, doch bleibt in der Regel die Ausblasttemperatur konstant oder wird günstigstenfalls in wenigen Stufen abhängig von der Außentemperatur gefahren, was allerdings vielfach völlig ausreichend ist.

Eine große Verbesserung brachte hier jenes Warmluftsystem, bei dem die Energie als Warmwasser zu den einzelnen Wärmestationen transportiert wird, bekannter unter dem Firmennamen »Mahr-Calor-System««. Es ist jedoch korrekter, hier nicht eine Firmenbezeichnung zu gebrauchen, sondern von Warmluftstationen zu sprechen, da es inzwischen mehrere Anbieter dieses warmwassergestützten Luftheizsystems gibt. Der Denkmalpflege – wie auch anderen Entscheidungsträgern – wird allerdings dringend empfohlen, sowohl die Materialqualität, die Funktionsweise, die Reparaturfreundlichkeit und die Regelfähigkeit zu vergleichen, als auch die teilweise stark differieren-

den Kosten der baulichen Maßnahmen, welche bei den einzelnen Wärmestationen-Systemen durch äußerst unterschiedliche Einbaugrößen erzwungen werden.

Bei dieser Art der Warmluftheizung kann nun nicht nur die Brauchwassertemperatur gleitend gefahren werden, sondern von Wärmestation zu Wärmestation lässt sich – nicht bei allen Systemen – auch nochmals der Ventilatorlauf regulieren. Im Gegensatz zu allen herkömmlichen Warmluftsystemen ist es nun auch möglich, die Wärmeabgabe je Auslass regelungstechnisch zu steuern, ein Vorteil, der allerdings sehr oft überschätzt wird. Während die absolute Luftfeuchte selbst in einem gegliederten Kirchenraum als überall annähernd gleich vorgefunden werden wird, kann es doch entscheidende Temperaturunterschiede und damit Unterschiede in der relativen Raumluftfeuchte geben. Diese können unerwünscht oder erwünscht sein; das System der dezentralen Warmluftstationen erlaubt das gezielte Eingehen auf spezielle Wünsche.

Alle im heizungstechnischen Teil beschriebenen Vor- und Nachteile werden direkt oder indirekt also von der relativen Luftfeuchtigkeit abgeleitet. Die Heizung trägt nicht die ausschließliche Schuld an deren Absenkung, aber jedes *kontinuierliche* Beheizen, und auch nur ein Temperieren, drückt die relative Luftfeuchte auf Dauer nach unten. Die Zustimmung zu einem Heizungs- oder Temperierungssystem ist also gleichzeitig stets die, wenn auch unausgesprochene, *Erlaubnis zum Absenken der bisherigen durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit*. In der logischen Konsequenz müssen deshalb alle Maßnahmen vermieden werden, die ein zusätzliches Absenken dieser Raumluftfeuchte bewirken, falls dies nicht aus Kondensationsgründen erwünscht ist.

Dieser bauphysikalische Zwang erlaubt also bereits im Vorfeld der Entscheidungen die Sinnfälligkeit eines Heizsystems zu hinterfragen beziehungsweise Forderungen an den Heizbetrieb zu stellen. Im Speyerer Dom trägt der Obergaden einen bedeutenden Freskenzyklus des Historismus; schon als eine Beheizung des Doms erst angedacht wurde, konnte dem Dombauamt mitgeteilt werden, welche raumklimatischen Randbedingungen einzuhalten sein werden und welche Heizweise anzustreben ist. Auch für den Speyerer Dom war also die Entscheidung für ein Heizsystem „unwichtiger“ als die das Raumklima prägende Heizweise.

Eine der Hauptursachen hierzu wurde bisher von Denkmalpfleger- und Restauratorensseite geflissentlich, meist mit Nachdruck, übersehen: der „hohe“ Luftwechsel in Kirchen und Sälen. Ein Schloss, ein Rathaus, eine Kirche lassen sich strömungstechnisch in vielen Fällen wie eine Staumauer beurteilen. Durch den großen Baukörper, häufig solitär stehend oder in wesentlich niedrigerer Umgebung, entstehen stärkere Druckunterschiede in Luv und Lee als sonst im bebauten Bereich üblich. Zudem sind Fenster in historischen Bauten dieser Art im Regelfall einfach verglast und dazu noch häufig als Bleiverglasung ausgeführt, die nochmals eine höhere Fugendurchlässigkeit als das in Sprossen verkittete Fenster aufweist. Dies alles kann eine höhere Fugendurchlässigkeit bewirken, aber niemals den so selbstverständlich und ständig behaupteten hohen Luftwechsel, denn dieser wird auf die Kubatur des zu belüftenden Raums bezogen: In einem Ratssaal von 1200 m³, oder in einer mittleren Kirche von 3500 m³ würde es pfeifen und jaulen, wenn durch die Fugen bei dem üblicherweise behaupteten aber niemals gemessenen „mindestens 1-fachen Luftwechsel“ diese Luftmenge pro Stunde gepresst würde.

Abb. 19. Kriterien zur Auswahl einer Kirchenheizung. Tabelle zu den Prämissen: da sich Prämissen gegenseitig ausschließen, bedingen oder beeinflussen können, ist hier die einvernehmliche Vorentscheidung besonders wichtig.

Aber auch ein geringerer Luftwechsel kann eine große Wirkung zeigen: Je kälter die Außentemperatur ist, desto niedriger liegt auch deren Wassergehalt, also ihre absolute Luftfeuchtigkeit. Das heißt, dass alles, was an Luftfeuchtigkeit in der Kirche durch Verdunstung aus Fußboden und Mauerwerk, durch Pflanzen und auch durch Reinigung gewonnen wird, vor allem aber in Zeiten der Nutzung entsteht, wieder durch undichte Fenster und Türen „hinausgeblasen“ wird.

Leider ist dies noch nicht alles, denn auf zusätzliche Weise sorgt das Einfachfenster für die Abtrocknung der Raumluft: es ist eine hochwirksame Kondensationsfläche. Dies heißt, jeder Wassertropfen, der innenseitig im Winter an der Einfachverglasung abläuft, ist der vielleicht ohnehin schon zu trockenen Raumluft entzogen – und dies funktioniert um so besser, je höher bei niedrigerer Außenluft geheizt wird; beides sind die schädlichsten Voraussetzungen für eine zu niedrige relative Raumluftfeuchte.

Auch hierzu ein konkretes Beispiele: Die Oberelchinger Klosterkirche, ein bedeutender Barockbau, zeigte nach Heizungseinbau schwerste Schäden an der renovierten Ausstattung: Der Schuldige war wieder einmal rasch entdeckt: die Heizung. Tatsächlich stellte sich im Winter eine katastrophale Absenkung der Raumluftfeuchte auf bis zu 28% relativer Feuchte ein. In der Praxis führte allerdings wieder eine Summe von Fehlern zu diesem Schaden. Die Restaurierungsarbeiten wurden trotz intensivster Warnung ausgerechnet zu einer Zeit durchgeführt, da der Raum durch bauliche Sanierungsmaßnahmen – vor allem das Einbringen vieler Kubikmeter Beton zur statischen Sanierung!! – eine ungewöhnlich hohe Luftfeuchte aufwies, die nach Abschluss der baulichen Maßnahmen rasch zusammenbrach; dieser Anteil der schadensfördernden Abtrocknung auf das normale Niveau wäre leicht vermeidbar gewesen. Schadensauslösend ist dort aber ein extrem hoher Luftwechsel, bedingt durch den hohen Fensterflächenanteil der barocken Kirche und ihren exponierten Standort – und verblüffend hoch unterstützt durch eine zusätzliche und äußerst seltene „Anlage“ zur Erhöhung des Luftwechsels: hinter dem Altar führt eine große Öffnung im Chor direkt in den Turm, der auf diese Weise wie ein überdimensionierter Kaminzug wirkt. Die ungewöhnlich lang anhaltende extrem niedrige Außenluftfeuchte in der Kälteperiode Januar/Februar 1991 brachte also zwangsläufig auch die Raumluftfeuchte zum Absturz, obwohl eine gute Regelung die Heizung rechtzeitig abschaltete.

Damit ist eine weit unter Wert beurteilte Möglichkeit der schadensmindernden Regelung angesprochen, die zwar schon seit langem durch Bastelei möglich war, seit Jahren aber durch kompakte Regelgeräte angeboten wird. Der Raumtemperaturregelung ist eine Raumluftfeuchteregeung vorgeschaltet. Wird hier ein Grenzwert – beispielsweise 45%, – unterschritten, fährt die Heizung zurück, obwohl die regelungstechnisch vorgegebene Raumlufttemperatur nicht erreicht ist. Diese automatische, die Ausstattung durch Aufrechterhaltung einer sinnvollen Mindestraumluftfeuchte schützende Temperaturabsenkung wird allerdings nur bis zu einem vertretbaren Temperaturminimum geführt. Damit diese äußerst zweckmäßige Regelungserweiterung aber nicht ihren Sinn verliert, muss diese Mindesttemperatur tatsächlich „minimal“ sein: 4–6°C. Der oder die Feuchtefühler können dort installiert werden, wo dieser Schutz am nötigsten erscheint. Freilich heißt dies, dass damit bei extrem niedrigen und trockenen Außenluftwerten die Heizung nicht anspringt, doch wird dies nur selten und in manchen Wintern gar nicht eintreten.

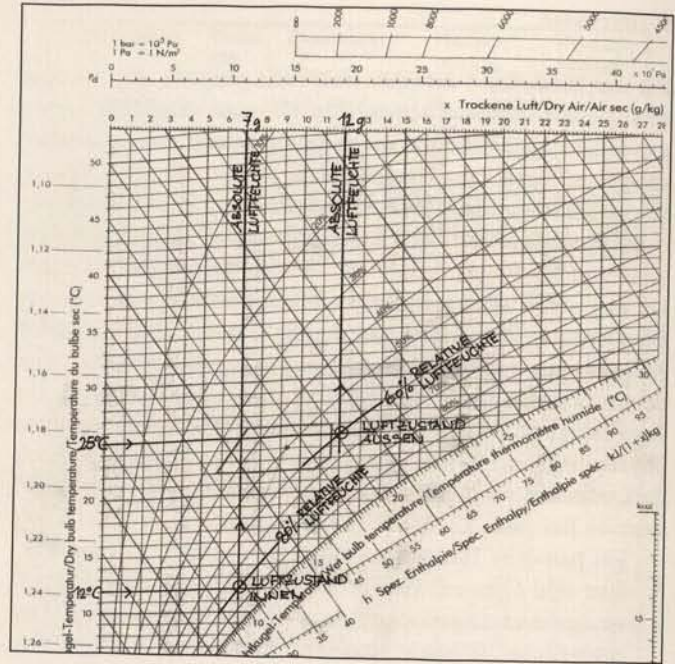


Abb. 20. Graphische Darstellung des äußerst wichtigen Unterschieds zwischen absoluter und relativer Luftfeuchte.

Als weiterer Vorzug kann durch diese Regelung „automatisch“ der große Vorzug jeder Beheizung genutzt werden: Schutz vor Kondensation. Steigt die Raumluftfeuchte über einen wieder vorgeschriebenen Wert, springt die Heizung an und hebt die Raumlufttemperatur so weit, dass die Luftfeuchte im schadensfreien Bereich gehalten wird, eine gute Lösung zwar, doch verliert sie zum Sommer hin immer mehr ihren Sinn.

Nochmals sieht sich also gerade der verantwortungsbewusste Denkmalpfleger dem Dilemma gegenüber, zwischen zwei Übeln zu wählen: Wird der Raum beheizt, müsste er zum besseren Erhalt der winterlichen Raumluftfeuchte eine Doppelverglasung und andere Maßnahmen zur Verringerung des Luftwechsels verlangen, darf diese aber in den meisten Fällen aus denkmalpflegerischen Gründen gar nicht in Erwägung ziehen. Es wird hier insofern ein Umdenken notwendig, als der Verantwortliche in vollem Wissen um die Schädlichkeit beider Lösungen, wiederum von Fall zu Fall unterschiedlich, nach kenntnisreicher Abwägung das geringere Übel wählen muss. Es ist dabei durchaus denkbar, dass aus dem tatsächlichen Zwang, bei Zustimmung zu einer Heizung eine Doppelverglasung und Windfänge anordnen zu müssen, um die Ausstattung zu retten, das eigentliche Heizungsprojekt abgelehnt werden wird.

6. Lüftung, Entfeuchtung

Es wurde begründet, weshalb die Beeinflussung der *sommerlichen* Raumluftfeuchte eine so wirksame Hilfe gegen die heizungsbedingte Abtrocknung im *Winter*halbjahr sein kann; eine gefährliche Differenz im Luftfeuchteverlauf, verursacht durch wechselndes Beheizen, wird nämlich auch dadurch entschärft, dass die frühsummerlichen bis sommerlichen Luftfeuchtegipfel gekappt werden, statt das winterliche Tal aufzufüllen. Um zu erkennen, wie zweckmäßig eine derartige Maßnahme ist, wie positiv also ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis zu beurteilen ist, muss erst einmal das sommerliche Raumklima bekannt sein.

Ein Belüften und/oder Entfeuchten kann aber noch aus weiterem Grund bedeutsam sein: Geschildert wurde die Kondensationsbereitschaft solch großer Räume im Übergang vom unbeheizten, die Kälte speichernden Winterzustand zum Frühjahr, wo – abhängig vom Standort – schon im Laufe des Februars feuchte Außenluft eingetragen werden kann. Selbstverständlich verringert sich diese zwingende Schadensursache gewaltig, wenn durch eine Beheizung die Temperaturen der Raumschale angehoben sind, oder aber – bei örtlich begrenzter Kondensation – Fußboden-Wand-Ecken, Fensterleibungen, Konchen, Wandnischen und andere vergleichbare Bereiche; im Regelfall genügen hier bereits einige Kelvin. In besonders extremen Fällen ist das Beheizen, das sein Ende üblicherweise irgendwann gegen Ende April, Anfang Mai findet, aber nicht ausreichend, den klimatisch bedingten Feuchteanfall nachhaltig auszugleichen. Gründe hierfür können sein:

- geringe Wärmespeicherefähigkeit der Raumschale – zum Beispiel Fachwerk, dünne Natursteinwände;
- extreme Wärmespeicherefähigkeit bei geringer Sorptionsleistung der Raumschale – zum Beispiel unverputzte, dicke Granitmauern;
- extreme Lage – sehr hoch, lange beschattet, sehr dicht baumumstanden, Küstennähe;
- fehlende, oder nur niedrige stationäre Beheizung ohne winterliche Nutzung;
- starke winterliche bis fröhsommerliche Nutzung mit relativ hohen Raumlufttemperaturen – zum Beispiel Konzerte

Die „eleganteste“, vielfach auch preiswerteste Lösung liegt im gezielten Luftwechsel, nach Norm: „Zwangsluftwechsel“. „Gezielt“ heißt, dass äußere und innere absolute Luftfeuchte miteinander verglichen werden; liegt die äußere unter der inneren, wird ein elektrischer Kontakt geschaltet. Die Sinnfälligkeit und den hier so entscheidenden Unterschied zwischen „absoluter“ und „relativer“ Luftfeuchte zeigt nochmals Abbildung 20, in der die äußere *relative* Luftfeuchte (60%) weit unter der inneren (90%) liegt und dennoch bei Belüften der Raum einen außerordentlich hohen Feuchtegewinn ertragen muss, denn die *absolute* Raumluftfeuchte beträgt nur 8 g/m³, während die warme Außenluft circa 14,3 g/m³ trägt; die Differenz belastet als Feuchtegewinn den Raum (Abb. 20).

Wie deutlich sich das hier theoretisch Behauptete auch in der Praxis findet, zeigt der Ausschnitt einer Klimamessung in einer größeren Kapelle im Rott-Tal, „Siebenschläferkapelle“. Innen und außen ist der Verlauf der jeweiligen absoluten und relativen Luftfeuchte entgegengesetzt (Abb. 21).

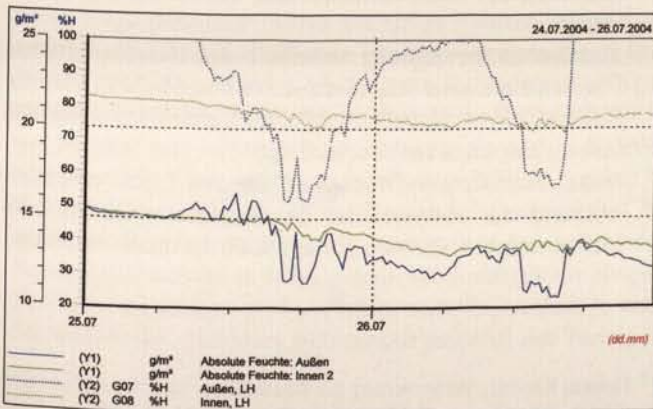


Abb. 21. Nachweis aus der Praxis anhand eines Messprotokolls der unterschiedlichen Verläufe von relativer und absoluter Luftfeuchte.

Für diese zusätzliche Lösung wird eine Messergänzung in der Regeltechnik nötig: je ein Luftfeuchte- und Lufttemperaturfühler innen und außen einschließlich Minirechner: circa 3.200,- € ohne Installation.

Diese Schaltung kann nun Verschiedenes in Gang setzen:

- An geeigneter Stelle zeigt ein grünes Licht an, dass Türen und Fenster weit geöffnet, ein rotes, dass sie alle geschlossen bleiben sollten. Der Hauptnachteil dieser Lösung liegt darin, dass selbst ein pflichtbewusster Mesner nicht 24 Stunden die Lämpchen beachten wird, der erwünschte Lüftungszustand sich aber auf den gesamten Tagesverlauf verteilen kann.
- Es werden Stellmotore geschaltet, die Fenster, Türen, Klappen bedienen. Diese automatisierte Lösung vermeidet zwar die Bedienungsabhängigkeit, doch hängt die Wirkung dieser freien Lüftung außergewöhnlich stark von den außerklimatischen Bedingungen ab: Wind, Besonnung. Solche Stellmotore können vereisen; zudem müsste eine Vogel-sicherung und möglichst auch eine Sturmsicherung eingebaut werden; zumindest diese bedarf wieder der Beobachtung und Wartung.
- Es werden Ventilatoren geschaltet, die häufig im Dachraum installierbar sind, aber auch in anderen Bereichen der Raumschale „unsichtbar“ eingebaut werden können (Beispiel: Andechser Klosterkirche). Nun ist der Luftwechsel definiert; er wird je Ventilator begrenzt durch dessen Leistung, die wiederum einen engen Rahmen durch das Ventilatorgeräusch finden kann. Hier gibt es eine ebenso simple wie preiswerte Lösung. Zentral, in der Regel von der Sakristei aus, kann der Ventilator per Zeitknopf für eine vorgegebene Spanne – beispielsweise 90 Minuten – aus, oder auf „Flüsterstufe“ geschaltet werden; danach springt er wieder automatisch an.
- Die mit Abstand beste, häufig preiswerteste und auch völlig „unsichtbare“ Lösung bietet die konventionelle Luftheizung: Sie verfügt über ein ausreichend dimensioniertes Luftkanalnetz und vor allem auch über eine Luftansaugung. Mit nur geringen technischen Ergänzungen kann sie fast immer – gesteuert wie beschrieben – den Luftwechsel übernehmen, auch ist es zudem denkbar, in den Kanal eine Luftentfeuchtung zu integrieren, was die Anwendung spürbar erweitert. Wählt man ein Luftheizsystem mit Wärmestationen, kann eine solche Station zwar ebenfalls umgebaut werden, was zusätzlich schon ein größeres Gehäuse verlangt, doch liegt der Hauptnachteil darin, dass bestenfalls ein Rohr mit Durchmesser 25 cm an jede Wärmestation angeschlossen werden kann, was ungefähr ein Fünfundzwanzigstel des konventionellen Frischluftkanalquerschnitts beträgt.

Der Erfolg einer solchen Lösung über Lüftung kann nicht pauschal genannt werden: im Gebirge sind die Voraussetzungen günstiger als an der See oder im Rheintal, in der städtischen Pfarrkirche anders als für die freistehende Wallfahrtskirche.

Sind diese Voraussetzungen ungünstig, was vergleichsweise selten ist, oder reichen sie nicht aus, was man öfters finden wird, kann auch maschinell entfeuchtet werden. Diese Luftentfeuchter stellen vor allem formal ein Problem dar, da sie vergleichsweise groß und deshalb schlecht zu verbergen sind, auch muss das durch ihr Funktionsprinzip gewonnene Wasser abgeleitet werden. Eine eimerweise Entleerung ist im Privatbereich und einigen wenigen Räumen denkbar, nicht aber in einem großen Saal, oder gar einer Kirche. Der Aufstellungsort muss also gewährleisten,

LUFT INNEN	LUFTEMPERATUR AUSSEN								
	- 10°C	-5°C	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
-5°C	77%	50%	33%	24%	17%	13%			
0°C		75%	50%	36%	26%	19%	14%		
5°C			70%	50%	36%	27%	20%	15%	
10°C				69%	50%	37%	27%	20%	15%
15°C					68%	50%	37%	28%	21%
20°C						68%	50%	38%	29%

Abb. 22a. Tabelle zu Lüftungsempfehlungen 1, relative Feuchte innen bei 50%: Markierung der maximalen relativen Feuchte der Außenluft (36%), bei der in Abhängigkeit von den Lufttemperaturen außen (hier: 10°C) und innen (hier: 5°C) eine Lüftung schadfrei möglich ist.

dass ein Wasserablauf über Gefälle – *nicht mittels Pumpe* – möglich ist, wobei dieses Tropfwasser auch tatsächlich frei abtropfen, oder in eine Regenwasserfallleitung eingeführt werden sollte. Die immer wieder angeführte Gefahr des Vereisens außen und damit Überschwemmens innen zeugt nur von Denkfaulheit: im Winter versucht man jeden Tropfen „Luftfeuchte“ zu halten; kein Luftentfeuchter wird zur Frostzeit laufen!

Wie außerordentlich problematisch es selbst für einen einsichtigen Mesner, Kustos, Museumswärter ist, durch „richtiges“ Lüften ein schadensfreies Raumklima zu unterstützen, zeigt die folgende Empfehlung, die von mir auf Wunsch einiger Kirchenbauämter zusammengestellt wurde (Abb. 22). Tatsächlich wird auf Dauer nur eine der oben genannten Möglichkeiten zum Erfolg führen. Ich lege aus sehr langer Erfahrung dringend nahe, diese Sommerproblematik bei der Beurteilung einer Beheizung nicht zu übersehen.

7. Regelung

Eine „gute“ Regelung wird über die Raumlufttemperaturen geführt, berücksichtigt aber vorrangig die Raumluftfeuchte.⁸ Mehr der Bequemlichkeit als der Sicherheit dient ein Wochenprogramm, das, obwohl es inzwischen vorgeschrieben ist, nur dann sinnvoll wird, wenn die Gottesdienstordnung tatsächlich häufigere und zu gleicher Zeit wiederkehrende Aktivitäten enthält.

So enthält eine empfehlenswerte Regelung die folgenden Funktionen, wobei die angegebenen Werte nicht als absolut betrachtet werden dürfen, sondern sich von Objekt zu Objekt ändern können. Beispielhaft wurde hier eine mittelgroße Kirche vorausgesetzt, die bisher keine Heizung besaß, weshalb sich über ein bis zwei Heizperioden noch ein Nachregeln ergibt.

- *Temperaturerfassung* durch Raumthermostate; für die stationäre Beheizung sollten 5–6°C vorgegeben werden; 8°C sind auf keinen Fall zu überschreiten, dies nicht nur aus Kostengründen, sondern weil dadurch der Luftfeuchteabfall nochmals um etwa 7 Prozentpunkte verstärkt würde.

Als Raumlufttemperatur für die instationäre Beheizung zu den Gottesdiensten werden für diese gedachte Kirche nur 10°C und nicht 12°C empfohlen. Der Grund liegt in der vergleichsweise dichten Nutzung, durch die Dank der zusätzlichen Wärmeabgabe der Kirchenbesucher sich ohnehin etwas höhere Gottesdiensttemperaturen einstellen werden und in manchen Winterwochen der Temperaturabfall zwischen den einzelnen Nutzungszeiten die sechsgradige Grundtemperatur nicht erreichen wird.

- *Luftfeuchterfassung*, vorrangig vor der Temperaturerfassung: Die folgenden Regelwerte sind als Eckdaten für

LUFT INNEN	LUFTEMPERATUR AUSSEN								
	- 10°C	-5°C	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
-5°C	93%	60%	39%	27%	19%	14%			
0°C		91%	60%	42%	29%	21%	15%		
5°C			85%	60%	42%	30%	22%	16%	
10°C				84%	60%	43%	31%	23%	17%
15°C					83%	60%	43%	32%	24%
20°C						82%	60%	44%	33%

Abb. 22b. Tabelle zu Lüftungsempfehlungen 2, relative Feuchte innen bei 60%: Weichen die gemessenen Klimawerte von den Tabellenwerten ab, so kann der jeweilige Näherungswert verwendet werden.

das erste Heizjahr zu verstehen, da erst in dieser Zeit die zwangsläufige Raumklimaumstellung vom bisher unbeheizten in den künftig beheizten Zustand vonstatten geht.

Ausschaltung der Heizung auch bei Nichterreichen der Solltemperatur bei Unterschreiten von 50% relativer Feuchte; später 40–45%;

- Einschalten der Heizung auch bei Überschreiten der Solltemperatur bei Raumluftfeuchten über 70% relativer Feuchte; später über 60–65%. So kann als weiterer Vorzug durch diese Regelung „automatisch“ die große Hilfe jeder Beheizung zur Luftfeuchtebeeinflussung genutzt werden: Schutz vor Kondensation. Steigt die Raumluftfeuchte über diesen vorgeschriebenen Wert, springt die Heizung an und hebt die Raumlufttemperatur so weit, dass die Luftfeuchte im schadensfreien Bereich gehalten wird. Selbstverständlich gibt es hier eine technisch-physikalische Grenze: Niemand wird in einer Kirche mit sommerlicher Raumlufttemperatur von 20°C die Heizung anschalten, um durch Höherheizen die Luftfeuchte zu drücken. Hier hilft nur das beschriebene Lüften. Der oder die Feuchtefühler können dort installiert werden, wo dieser Schutz am nötigsten erscheint. Freilich heißt dies, dass damit bei extrem niedrigen und trockenen Außenluftwerten die Heizung nicht anspringt.

- *Streckung der Aufheiz- und Abkühlzeit* auf maximal 1 K/h; anzustreben ist eine langsamere Temperaturveränderung.

- Wenn aus praktischen Gründen erwünscht: *Wochenprogrammierung* entsprechend der Gottesdienstordnung; in den meisten Kirchen wird diese Bequemlichkeit aber durch die hohe Wärmespeicherfähigkeit ad absurdum geführt.

- *Handschtaltung per Druckknopf für Hochheizen* und anderes bei Nutzung außerhalb dieser vorgegebenen Zeiten mit *automatischer* Rückschtaltung eine halbe Stunde nach Erreichen der Maximaltemperatur auf stationären Heizbetrieb.

- *Einschalten der Lüftung* außerhalb des Heizbetriebs bei Überschreiten einer Raumluftfeuchte von 65–70% relativer Feuchte, wenn die äußere absolute Luftfeuchte unter der inneren absoluten Luftfeuchte liegt.

- *Handschtaltung per Druckknopf für den Lüftungsbetrieb* während der Heizperiode; die Regeleckwerte bleiben gleich; automatische Abschaltung nach maximal 3 Stunden.

⁸ Helmut KÜNZEL, Verbesserung der Raumklima- und Feuchteverhältnisse in historischen Gebäuden durch gesteuertes Heizen und Lüften, in: Raumklima in Museen und historischen Gebäuden, Bietigheim-Bissingen 2000.

LUFT INNEN	LUFTTEMPERATUR AUSSEN								
	-10°C	-5°C	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
-5°C		70%	46%	32%	21%	16%	12%		
0°C			70%	49%	35%	25%	18%	13%	
5°C				70%	50%	36%	26%	19%	14%
10°C					70%	50%	36%	27%	20%
15°C						70%	51%	37%	28%
20°C							70%	51%	38%

Abb. 22c. Tabelle zu Lüftungsempfehlungen 3, relative Feuchte innen bei 70%: Markierung der maximalen relativen Feuchte der Außenluft (27%), bei der in Abhängigkeit von den Lufttemperaturen außen (hier: 25°C) und innen (hier: 10°C) eine Lüftung schadfrei möglich ist.

Zur „Entschärfung“ elektrischer Bankheizsysteme liefert die österreichische Firma ASKI ein neues Steuerungssystem, das bei guten Erfahrungen in anderen Anwendungsbereichen an diese speziellen Forderungen einer Kirchenheizung angepasst ist und damit nun ermöglicht, was bisher nicht möglich war: trotz Elektroheizung ein angepasstes *stationäres* Heizen, bezogen auf vorgegebene Raumlufttemperaturen und – in sinnvollem Rahmen – regelungstechnische Absicherung im Bereich der Raumluftfeuchte. Zum besseren Verständnis eine einfache Erklärung: Eine Puls-Pausen-Steuerung schaltet einen bestimmten Anteil der Sinuskurven aus: die Leistung wird geringer, ohne dass das Gerät ständig aus- und wieder eingeschaltet werden muss.

Ich habe dieses System während seiner Erprobung in einer österreichischen Kirche messtechnisch über zwei Winter sehr kritisch begleitet, auch halfen die Ergebnisse meiner früheren einjährigen Klimamessung, den Erfolg zu quantifizieren: das Regelergebnis war – für mich! – überraschend gut. Diese neue Regelung sollte also dort sinnvoll bei vorhandenen elektrischen Bankheizsystemen eingesetzt werden, wo aus Kostengründen bis auf Weiteres nicht mit einer Auswechslung des Heizsystems gerechnet werden kann, man aber die negative Auswirkung dieser Art der Beheizung lindern möchte. In Kirchen mit geringer Nutzungsdichte – beispielsweise Ferialkirchen – erlaubt diese neue Regelung auch ein bewusstes Belassen der ansonsten so schadensträchtigen elektrischen Kirchenbankheizung.

8. Fazit

Man hat sich in den vergangenen Jahren zum Teil aus Unkenntnis, zum Teil aus Angst, zum Teil leider aber auch aus Ignoranz schon lange bekannter Fakten auf einige Rahmenbedingungen geeinigt, die zumindest teilweise keineswegs begründet, in Einzelfällen sogar gefährlich sind. Diese Rahmenbedingungen können sogar heute als anerkannte Regeln der Technik bezeichnet werden, was nichts anderes bedeutet, als dass sich derjenige, der sich ihrer selbst gegen besseres Wissen bedient, in Schadensfällen rechtlich auf der sicheren Seite wähnen darf. Es wird deshalb dringend notwendig, zum Schutz der anvertrauten Bausubstanz und der in ihnen enthaltenen Kunstgüter in einigen Punkten umzudenken und vor allem nicht dogmatisch je nach Standpunkt der oder jener Heizungsart pauschal den Vorzug zu

Abb. 23. Graphik: Umfang der Heizkosteneinsparung durch Absenkung der Raumtemperatur.

geben, sondern in jedem einzelnen Fall ausgehend von den besonderen Ist-Zuständen neu das für diesen Sanierungsfall optimale Heizungskonzept zu erarbeiten.

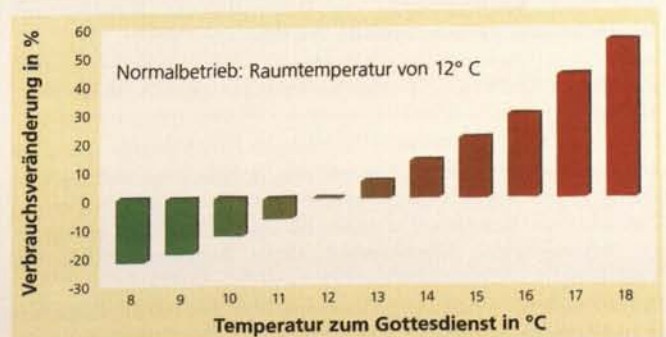
Als Ist-Zustand ist hier vor allem das Erscheinungsbild von Raumschale und Ausstattung zu nennen:

- gibt es Schäden und welche;
- was sind die Schadensursachen: mechanisch, *raumklimatisch*, *bautechnisch*, restauratorisch;
- wann wurden die letzten Restaurierungen durchgeführt;
- deckt ein Quellenstudium die Genesis dieser Schäden auf?

Zum Zweiten *kann* es notwendig werden, das Raumklima zu ermitteln, was dann allerdings nicht nur durch das Aufstellen eines Thermohygrographen geschehen darf, da die Temperaturen der Raumboflächen ebenso eine Rolle spielen wie die durch Lage und Befensterung in diesem Raum typischen Luftbewegungen. Entscheidend ist es dabei, nicht nur die winterlichen Zustände zu erfassen und zu beurteilen, sondern vor allem auch die frühjährlichen, da hier jede Heizungsanlage ein willkommenes Hilfsmittel sein kann, um jene Feuchtespitzen zu kappen, die für die Ausstattung ebenso gefährlich sind wie die gefürchteten Feuchtetäler. Im Sommer wird hierzu eine gezielte Belüftung hilfreich sein; in extremen Fällen bedarf es zusätzlicher haustechnischer Maßnahmen. Diese aufwendigen und auch zeitraubenden Untersuchungen könnten allerdings viel öfters entfallen, wenn die Hinweise beachtet werden, die uns das Erscheinungsbild schenkt.

Die Ablehnung einer Kirchenheizung kann demnach nicht automatisch begründet werden durch besondere Qualität der Ausstattung, sondern setzt zum einen auch wieder den Nachweis voraus, warum gerade in diesem Raum durch Beheizen Veränderungen entstehen, die als schadensfördernd bezeichnet werden müssten, zum anderen ist bei Schäden am Bauwerk *und* an der Ausstattung sehr genau zu prüfen, ob deren Ursachen nicht gerade durch einen verbessernden Eingriff in das Raumklima behoben, oder zumindest deutlich gemindert werden können.

Die Verantwortlichen sollten sich nicht mehr davor drücken, frühzeitig Stellung zu beziehen, ob der Schutz der Ausstattung als vorrangig bezeichnet wird oder jener der Raumschale; das eine *kann* das andere ausschließen; als guter Kompromiss kann mit anpassungsfähiger Regelung getrennt werden zwischen niedriger stationärer Beheizung und höherem instationärem Heizbetrieb zu Zeiten der Nutzung, was wiederum deren objektive Beurteilung voraussetzt: In einer Stadtpfarrkirche mit täglichen Gottesdiensten, mit Trauungen, Taufen und Beerdigungen, mit Konzerten und Lesungen, wird die theoretische Trennung von stationärer Grundheizung und nutzungsbedingter instationärer Hochtemperatur zur Farce: Als einziger Weg bleibt nur die *ri-go-*



rose Senkung der mittleren Raumlufttemperatur. Eine Überzeugungshilfe kann hier Abbildung 23⁹ geben, die verdeutlicht, dass bereits eine Absenkung um 2 Kelvin von 12°C auf 10°C eine Heizkostensparnis weit über 10% bietet (Abb. 23).

Bei Kondensatschäden – *aber ausschließlich dann!* – ist eine örtliche Temperierung der gefährdeten Stellen sinnvoll und von den Betriebskosten her dann auch gut vertretbar. Eine allein luftfeuchteabhängige Steuerung für eine solche Temperierung gibt keinen Sinn: eine brauchbare Steuerung müsste durch mehrere Fühler verschiedene Einzelwerte erfassen und automatisch auswerten, sodass die dadurch erzielbare Energieeinsparung viel zu teuer erkauft wird.

Die immer wieder geforderte Innovation von industrieller Seite soll zwar nicht abgewürgt werden, doch ist hier nicht einmal theoretisch eine entscheidende Verbesserung zu erwarten: Eine Verfeinerung der Regelung ist technisch heute schon möglich, von der Praxis her jedoch sinnlos; eine entscheidende Änderung in der Wärmeabgabe ist naturgesetzlich wie auch theoretisch nicht denkbar.

Notwendig ist die Aufklärung darüber, dass politische Profilierungssucht zwar auch winterliche Empfänge im Schloss-Saal erzwingen kann, oder die vermutlich fehlgeleitete Selbstbeurteilung eines Geistlichen, seine seelsorgerische Qualität könne sich an der durch Beheizen der Kirche erhöhten Zahl der Gläubigen messen lassen, aber damit in jedem Fall das darunter leidet, was genau jenem Politiker und jenem Geistlichen anvertraut ist, das kulturelle Erbe, das leider in keiner Weise wiederholbar ist.

Summary

Under What Conditions is the Heating of Churches Acceptable – and How Should It be Implemented?

The pros and cons of heating a church are usually discussed in terms of the possibilities offered by building services, in other words, in terms of the heating system; or sometimes the decision is anticipated in advance by prognoses about the damages that would result from a reduction in the humidity. It is already a stroke of luck if this fixation on the falling humidity is broadened by a general knowledge of building physics.

Literaturverzeichnis

- H. KORI, Die Berechnung der Kirchenheizung nach der Rietschelschen Formel, Gesundheitsingenieur 47, 1924, Nr. 21.
Axel PFEIL, Kirchenheizung und Denkmalschutz. Wärmebedarf, Feuchtehaushalt, Heizungssysteme, Wiesbaden und Berlin, 1975.
Walter BECK, Manfred KOLLER, Probleme der Heizung in historischen Bauwerken Österreichs, Restauratorenblätter Band 5, Wien 1981, S. 79–102.
Claus ARENDT, G. HAUSLADEN, Thermische Bausanierung: Vom Sinn und Unsinn einer amtlichen Empfehlung zur Beheizung und Trockenlegung von Gebäuden, Haustechnische Rundschau 2, Februar 1992.
Claus ARENDT, Raumklima in großen historischen Räumen. Heizungsart, Heizungsweise, Schadensentwicklung, Schadensverhinderung, Köln 1993.
Helmut KÜNZEL, Verbesserung der Raumklima- und Feuchteverhältnisse in historischen Gebäuden durch gesteuertes Heizen und Lüften, in:

In fact, however, an assessment of heating for large, previously unheated spaces in old buildings must be gauged by the condition of the structural system, the interior envelope and the fittings at the time the issue of heating is under discussion. If the space is already heated and damages are becoming apparent, then it is necessary to determine their genesis before, during and after the installation of the heating system and above all to examine the manner in which the heating system is employed (and here experience has shown that it is not sufficient to ask the user if he has indeed complied with the prescribed regulatory data).

It is a fact – even if an unpopular and too often repressed fact – that unheated spaces of this sort often enough show damages that could be avoided through appropriate warming in the future. This is true not only for churches in particular but also for most comparable large spaces which were previously rarely used in the winter such as halls in summer palaces, pavilions, and similar buildings.

A responsible decision for or against the installation of a heating system, and above all a decision regarding the manner of heating if a system is already installed, demands very detailed knowledge of the building physics of the existing situation as well as knowledge of earlier uses and uses which are planned for the future: An interpretation of the indoor climate with regard to the as-is conditions is absolutely necessary. Not only algae and fungus growths but almost all organic infestations on fittings and wall surfaces indicate that the humidity is too high. The chronology and especially the distribution of soiling on the wall surfaces are also indications that the humidity is too high, at least periodically. Typical “dry damages” – warping, cracks, flaking and powdering – can also be a clear indication of repeated high humidity because their presence presupposes moisture differences in a building’s materials and therefore extreme variations in relative humidity.

In this case heating *can* bring about stabilization, if the manner in which the space is heated is geared to the room’s as-is state. When this requirement is finally recognized, the heating system can be chosen in a second step; this choice is commonly determined by taking architectural interventions or financial considerations into account.

⁹ NN, Energiesparen in historischen Kirchen, Firmenschrift: Theodor Mahr Söhne GmbH, Aachen o. J. (vermutlich 2003).

Raumklima in Museen und historischen Gebäuden, Bietigheim-Bissingen 2000.

- Claus ARENDT, Modernisierung alter Häuser, München 2003.
NN, Energiesparen in historischen Kirchen, Firmenschrift: Theodor Mahr Söhne GmbH, Aachen o. J. (vermutlich 2003).
Ralf KILIAN, Die Wandtemperierung in der Renatuskapelle in Lustheim: Auswirkungen auf das Raumklima, München 2004.

Abbildungsnachweis

Abb. 1–23: Dr. Claus Arendt, München.

Winterschutzverkleidungen für witterungsgefährdete Objekte.

Anforderungsprofile an den präventiven Schutz

In Baden-Württemberg war es lange Zeit Tradition, empfindliche Objekte aus Stein (und auch aus Metall) über die Wintermonate mit einem Schutz zu versehen. Mittlerweile hat die Bereitschaft, diese Tradition fortzuführen, stark nachgelassen. Noch bis in die 1960er Jahre verschwanden mit Beginn des Winters viele Objekte aus dem Blickfeld der Öffentlichkeit hinter mehr oder weniger aufwendig gestaltete Winterverschalungen (Abb. 1). Brunnen, Figuren und auch wertvolle Portale waren mit einfachen Brettverschlängen vor starker Bewitterung geschützt. Mit Beginn des Frühlings wurden die Einhausungen entfernt, die Objekte standen wieder im Blickfeld und die Verschlänge und/oder die Schutzmaterialien gelangten ins Depot bis zum erneuten Gebrauch.

Auch in Schwäbisch Gmünd waren die Portale des Heilig-Kreuz-Münsters bis Mitte der 1960er Jahre regelmäßig eingeschalt (Abb. 2).

Seit Beginn der 1970er Jahre wird vielfach auf einen Winterschutz verzichtet. Mal werden finanzielle Gründe genannt, mal scheut man sich davor, die Objekte dem Auge der Touristen zu entziehen, wenn beispielsweise der Parkbesuch mit einem Eintrittsgeld verbunden ist und eventuelle „Besucherscharen“ im Winter sich darüber beschweren könnten, dass die Skulpturen nicht zu sehen sind.

Die Notwendigkeit, den Winterschutz anzubringen, war – teilweise ist sie es noch – allgemein anerkannt und bis in die Neuzeit unbestritten, obwohl es so gut wie keine Messdaten gab, die die Einschätzung der Fachleute objektiv untermauerten.

Sowohl Rolf Wihr¹ aus dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege, 1980, als auch Gerd Bauer², vom Rheinischen Amt für Denkmalpflege, 1985, haben mit Ihren Beiträgen auf das Thema Winterverschalung als präventiven Schutz hingewiesen und für dieses Anliegen geworben. Auch im Bericht Nr. 10 zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland wird der Bewitterungsschutz empfohlen.³ In der Regel schützte man die Objekte entsprechend den theoretischen Überlegungen, dass besonders die nassen und frostigen Wintermonate dem Naturstein besonders stark zusetzen und schaden. Diese Erkenntnisse führen auch heute noch zu Schutzmaßnahmen, mitunter auch

bei „Nichtdenkmalen“. Bisweilen dokumentiert die Art und Weise der Anbringung dieser Einhausungen auch die Unkenntnis der Handelnden. So ist es kaum nachvollziehbar, dass Brunnenschalen abgedeckt werden, während die Skulpturenaufsätze der Witterung ausgesetzt bleiben (Abb. 3, 4).

In Baden-Württemberg wurden während der Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen an den Portalen des Münsters in Schwäbisch Gmünd im Rahmen eines Forschungsvorhabens durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMFT) erstmals umfangreiche Messungen durch das Fraunhofer Institut für Bauphysik durchgeführt. Die Messungen erfassten auf Anregung der Restauratoren nicht nur die Oberflächen, sondern auch die Tiefe des Materials. Dabei wurden alle Portale auf der Nord- und Südseite erfasst, sowohl die verschalten wie auch die nicht verschalten.

Die hier vorgestellte Messkampagne erstreckte sich von August 1992 bis September 1993, also über ein ganzes Jahr. Ausschnittsweise werden im Folgenden einige markante Messergebnisse aus dem Bericht des Fraunhofer Instituts⁴ für Bauphysik von 1994 zitiert, die deutlich die Wirkungsweise der Verschalungen veranschaulichen (Abb. 7a-b, 9a-b).

Wie das Beispiel aus den Sommermonaten zeigt (Temperaturverlauf an drei Sonnentagen im August, Abb. 7a-b), reduzierten hier die Verschalungen erwartungsgemäß allein durch die Verschattung größere Temperaturunterschiede auf den Oberflächen.

Am Beispiel für die Wintermonate wird deutlich, dass die Schutzverkleidung fast durchweg das Absinken der Temperaturen auf den Oberflächen unter null Grad verhindert, während an den nicht verschalten Portalen immer wieder Nulldurchgänge zu beobachten sind, die bekanntlich das Steinmaterial besonders stark beanspruchen (Abb. 9a-b).

Gerade diese häufigen Frost-Tauwechsel führen auch in Zukunft auf Dauer wieder zu erneuten Schäden an den Portalen. Auf der Nordseite sind die Temperaturen mit Verschalung relativ konstant, während sich auf der Südseite durch die Sonneneinstrahlung, auch im Winter, tagesbedingte Schwankungen ergeben.

Am deutlichsten zeigt ein weiteres Messprotokoll die extreme Beanspruchung durch Temperaturwechsel im Sommer (Abb. 10a-b). Drastisch ist dabei die unterschiedliche Einwirkung der Sonne in die Tiefe hinein zu erkennen.

Auch im Winter ist klar der Unterschied zwischen Nord und Südseite aus der Tabelle zu ersehen: Während auf der Nordseite erwartungsgemäß konstante Werte zu verzeichnen sind, durchläuft die Temperatur fast täglich, verursacht durch die Sonnenbestrahlung, im ungeschützten Portal die Nullmarke (Abb. 11a-b).

Wie in Abbildungen 10–11 zu ersehen, wurden die Messungen auch in die Materialtiefe hinein durchgeführt. Mittels eines neu entwickelten Messfühlers konnten die Temperaturen in

¹ Rolf WIHR, Restaurierung von Steindenkmälern. Ein Handbuch für Restauratoren, Steinbildhauer, Architekten und Denkmalpfleger, München 1980, S.140–142.

² Gerd BAUER, Was tun bei Steinzerfall, in: Denkmalpflege im Rheinland 4, 1985, S. 13–16.

³ Berichte zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland 10, Vorsorge, Pflege, Wartung. Empfehlungen zur Instandhaltung von Baudenkmalern und ihrer Ausstattung, hg. von der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, 2002.

⁴ D. HOLZ, Th. GROSSINSKY, Klimamessungen in den Portalbereichen des Heilig-Kreuz-Münsters in Schwäbisch Gmünd, IBP-Bericht FB-51/1994, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen 1994



Abb. 1. Neuenstein, Stadtpark, Skulpturen mit Wintereinhausung (Mitte der 1980er Jahre).

1, 7 und 15 cm Tiefe gemessen werden. Eindeutig zu erkennen ist, dass die Spannweite der Messungen in die Tiefe hin abnimmt. Am stärksten wirken sich die Temperaturwechsel auf der Oberfläche und in 1 cm Tiefe aus.

Stellt man den Messungen einige Aufnahmen von Schadensbildern vor den Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen gegenüber, so sind Zusammenhänge zwischen extremer Bewitterung / Temperaturverlauf und Schadensentwicklung und Ausprägung festzustellen (Abb. 5–6). Auch an der Interpretationsskizze (Abb. 5) von Gottfried Hauff aus dem Jahr 1987 zur Schadensentwicklung lässt sich dieser Zusammenhang erkennen.⁵

Die dargestellte Messkampagne bestätigte die Einschätzung und Vermutung, dass bereits die einfache Verschalung mit Holzbrettern nicht nur vor einem Feuchteintrag durch Regen oder Schneefall schützt, sondern auch einen enormen Schutz vor andauernden Frost-Tauwechseln bietet.



Abb. 2. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Südportal mit Verschalung (1965).



Abb. 3. Ulm, Georgsbrunnen: unsinnige Wintereinhausung unter Aussparung der Skulptur.

Neben der Reduzierung der Temperaturbelastungen für die Skulpturen dämpfen die Bretterverschläge auch die Schwankungen der relativen Luftfeuchte in den Grenzschichten der Materialien in Oberflächennähe und die damit verbundene Wasseraufnahme und Wasserabgabe über die Oberflächen. Vor allem in der Kombination der verschiedenen Materialien im Oberflächenbereich wie z.B. Malschicht auf Stein oder Anstrich- bzw. Kittmassen auf dem Gesteinsuntergrund ist eine Herabsetzung von Temperatur- und Stoff-Feuchteschwankungen von wesentlicher Bedeutung für die Dauerhaftigkeit dieser Materialverbände.

Aus dem Ergebnis der Messungen entstand seitens der Denkmalpflege die Forderung, einen Winterschutz anzubringen. Leider ist diese Forderung bis zum heutigen Zeitpunkt nicht umgesetzt. Es laufen jedoch zurzeit Planungen, ein Portal mit Leichtbauplatten auf einem Gerüst montiert zu schließen. Die Realisierung steht noch aus.



Abb. 4. Weingarten, Kreis Ravensburg, sog. Narrenbrunnen: unsinnige Wintereinhausung unter Aussparung der Skulptur.

Der Aufbau von Holzverschalungen oder Einhausungen ist unter Umständen umständlich und schwer. Auch die Lagerung während der warmen Jahreszeit erfordert entsprechend viel Platz. Dies sind wohl ebenfalls Gründe, warum immer wieder auf einen Winterschutz verzichtet wird.

Daraus entstand die Idee, neuartige Einhausungen zu entwickeln, die die Vorteile einer guten Handhabung und eines geringen Raumbedarfs bei der Lagerung mit den positiven Eigenschaften eines guten Schutzes verbinden sollten. Man dachte dabei an Materialien wie unterschiedlich beschichteten Polyestergeweben und Glasfasergeweben, die als Schutzmembrane dienen sollten. Aus dieser Idee entwickelte sich schließlich das Forschungsvorhaben Projekt Winterzelt bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Antragsteller war Rainer Blum aus Stuttgart.⁶ Mit Hilfe der Denkmalpflege wurden zwei Versuchsfelder ermittelt:

1. Clemenswerth in Niedersachsen. Ein Standort, der häufigem Nebel ausgesetzt ist und ein typisches norddeutsches Klima aufweist. Hier wurden Jagdtrophäen, die aus Baumberger Sandstein gefertigt und auf eine Mauer aufgesetzt sind, in die Untersuchung einbezogen. Diese Skulpturen waren auch Gegenstand eines weiteren DBU-Projektes zur Konservierung.
2. Weikersheim, im Main-Tauberkreis im nördlichen Baden-Württemberg. Ein Standort, der im Winter reichlich Schnee haben kann und eher dem typisch kälteren süddeutschen Klima entspricht. Die Gartenskulpturen aus einem gelblich grauen Schilfsandstein waren einige Jahre zuvor konserviert und restauriert worden.

Diese beiden Standorte gewährleisteten somit eine umfassende und differenzierte Betrachtung des Themas vom Klima her. Zudem waren die konstruktiven Bedingungen unterschiedlich: In Clemenswerth musste man eine Einhausung auf die Wand aufsetzen und konnte so die Wand in die Konstruktion einbeziehen, während in Weikersheim freistehende, zum Teil sehr große Vollplastiken geschützt werden sollten und somit eine eigene Trägerkonstruktion notwendig war.

Die umfangreichen Untersuchungen zu den einzelnen Materialtypen, es ging dabei um Themen wie Verformbarkeit, Knick- und Schmutzempfindlichkeit, Festigkeiten und Brandverhalten, sind dem Bericht von Blum zu entnehmen.⁷ An dieser Stelle sollen einige Ergebnisse und Erkenntnisse vorgestellt werden, die sich aus den Erfahrungen mit diesen Membranen / Planen in Weikersheim ergaben.

Es wurden zwei Einhausungen neu hergestellt. Diese waren mit Materialien bespannt, die mit einem Wärmeschutzlack be-

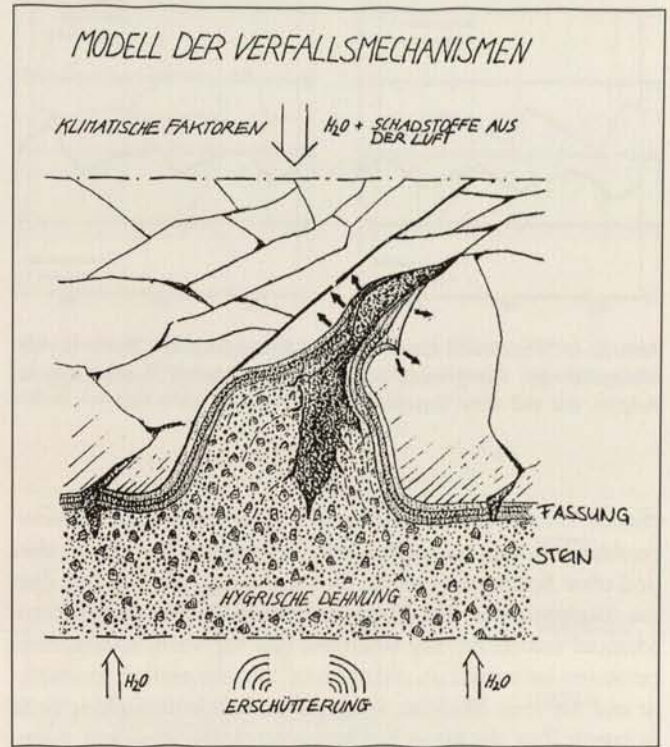


Abb. 5. Graphische Visualisierung der Verfallsmechanismen (Gottfried Hauff).

schichtet wurden. Als dritte Messeinheit kam eine bereits örtlich erstellte Einhausung aus PVC-Material (Autoplanen) hinzu. Ein wesentlicher Punkt bei der praktischen Umsetzung war der enorme Unterschied in Größe und Gewicht der neuen zu der vorhandenen Einhausung. Dies rührte daher, dass bei der Entwicklung der neuen Einheiten die im Bauwesen üblichen Sicherheitsstandards zugrunde gelegt wurden.

Die bereits erprobte einfache Einhausung über einer Gerüststangenkonstruktion, vom Forscher als „naiv zusammengesetzt“ bezeichnet, wurde weder berechnet noch bemessen (Abb. 8, 13). Immerhin stellte Blum bei späteren Diskussionen anheim, ob derart hohe Sicherheitsansprüche auch bei diesen Vorhaben angesetzt werden müssen.

Leider ließ das Vorhaben nur einen kurzen Messzeitraum von zwei Monaten im Winter zu (Abb. 12). Die Abb. 12 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Messkampagne. Man sieht die verglei-



Abb. 6. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Südportal, Detail Schadensbild.

⁵ Gottfried HAUFF, Karl FIEDLER, Bärbel MAIER-HERRMANN, Juliane WEIGELE, Zur Konservierung der Portalskulptur des Heilig-Kreuz-Münsters in Schwäbisch Gmünd, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 19, 1990, S. 80–87, Abb. 14; vgl. auch Helmut F. REICHWALD, Schwäbisch Gmünd, Heiligkreuzmünster – Restaurierungen der Chorportale, in: Erwin EMMERLING, Detlef KNIPPING, Franz NIEHOFF, Das Westportal der Heiliggeistkirche in Landshut (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 106), München 2001, S. 217–222.

⁶ Rainer BLUM, Bericht über die Denkmaleinhausung in Clemenswerth und Weikersheim, Projekt Winterzeit, 02.07.2002, Laboratorium für Dynamik und Optik (MS).

⁷ BLUM (wie Anm. 6), Bericht 02.07.2002.

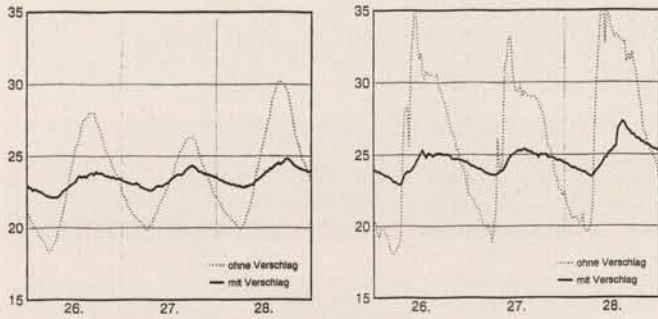


Abb. 7a-b. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Nord- (a) und Südportal (b): Temperaturverlauf während dreier Sonnentage im August, mit und ohne Verschlag.

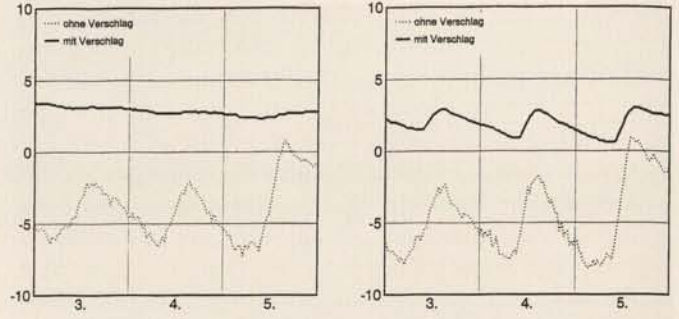


Abb. 9a-b. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Nord- (a) und Südportal (b): Temperaturverlauf während dreier Tage im Winter, mit und ohne Verschlag.

chende Darstellung der Temperaturen an den einzelnen Messpunkten, also an den untersuchten Skulpturen mit neuer, alter und ohne Schutzvorrichtung. Es kann festgestellt werden, dass die Skulpturen in den Einhausungen mit dem beschichteten Material sowohl bei Tag niedrigere und bei Nacht höhere Temperaturen aufweisen als die anderen, also die einfach geschützte und die freie Skulptur. Auch große Temperaturunterschiede in kurzer Zeit, die besonders belastend einzustufen sind, konnten etwas gemildert werden: jedoch bei weitem nicht in dem Umfang, wie dies aus den Messergebnissen bei Holzverschaltungen an den Portalen in Schwäbisch Gmünd resultiert.

Dennoch können eindeutige Verbesserungen der Situation gegenüber ungeschützten Objekten festgestellt werden. Zu diesem Zweck hat Rainer Blum die Summe der Absolutwerte gebildet und durch die Zeit der Messung dividiert, wobei er zu folgenden Vergleichswerten kam:

- Für die Skulptur mit dem neuem Einhausungsmaterial:
23,3° C / Tag
- Für die Skulptur mit der herkömmlichen Einhausung:
32,7° C / Tag
- Für die Skulptur ohne Einhausung :
57,6° C / Stunde



Abb. 8. Weikersheim, Schlosspark, Gartenskulpturen mit Wintereinhausung über Gerüststangenkonstruktion.

Hieraus leitet Blum die Verbesserung der Gesamtsituation mit dem neuen Material gegenüber der ungeschützten Skulptur um 60% ab, sicherlich eine sehr optimistische Einschätzung für diese sehr kurze Messperiode.

Die in Schwäbisch Gmünd gemessenen Werte überzeugen doch mehr. Auch wenn die optische Präsentation der neu entwickelten Einhausung (vgl. Abb. 13) eindrucksvoller erscheint als die einfache Holzverkleidung (vgl. Abb. 2), so sprechen die ausgewerteten Daten doch eine eindeutige Sprache.

Leider erfuhr das Forschungsprojekt keine Fortsetzung, sodass unsere Bemühungen leicht handhabbare, platzsparende Einhausungssysteme zu schaffen, ins Stocken geraten sind.

Wie bereits berichtet, beabsichtigt das Landesamt für Denkmalpflege zusammen mit der Münsterbauhütte Schwäbisch Gmünd einen Prototyp zu entwickeln, der, begleitet von Messungen, uns auf diesem Gebiet weiterbringen soll.

Derzeit laufen zwei weitere Projekte, die sich mit der Winterverschaltung von Objekten beschäftigen:

1. Das DBU-Projekt Einhausung, Tholey, Benediktinerabtei St. Mauritius, Nordportal; initiiert durch das Institut für Steinforschung (IFS) Mainz⁸
2. Winterschutz für baueingebundene Plastik der Technischen Universität Dresden⁹

Die Ergebnisse der beiden Projekte liegen leider noch nicht vor.

Grundsätzlich kommt man zu folgenden Anforderungen an einen wirksamen Winterschutz:

- Der Eintrag von Feuchte muss verhindert werden, d.h. ein geschlossenes Dach muss vorhanden sein.
- Es sollte möglichst auch ein Schutz gegen Sonneneinstrahlung oder eine Minimierung der Einstrahlung gewährleistet sein.
- Eine Belüftung muss gegeben sein
- Dichte Verpackungen mit Folien oder gleichwertigen Materialien sind zu vermeiden, sie schaden mehr als sie nützen.
- Es muss statisch ein eigenständiges und ausreichendes System vorhanden sein.
- Das Objekt muss ohne Berührung umbaut sein.
- Das Objekt muss ganz eingehaust sein, d.h. keine Teile sollten ungeschützt bleiben.

⁸ Institut für Steinkonservierung e.V. (IFS), Mainz Tätigkeitsbericht / Jahresinformation 2004.

⁹ RESTAURO. Zeitschrift für Kunsttechnik, Restaurierung und Museumsfragen 7, 2005, S. 470-471.

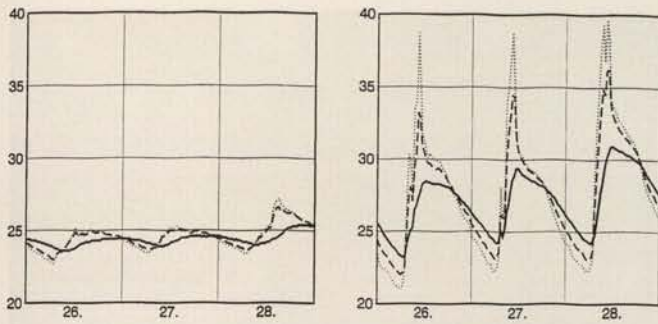


Abb. 10a-b. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Nord- (a) und Südportal (b): Sommer-Temperaturverlauf im Tiefenprofil (..... 1cm Tiefe, - - - - - 7cm Tiefe; — 15 cm Tiefe).

- Die Einhausung sollte einfach und ohne Gefährdung für das Objekt montierbar sein
- Das Objekt sollte rechtzeitig vor Wintereinbruch, möglichst im trockenen Zustand, mit einer Einhausung geschützt werden.

Darüber hinaus sind weitere grundlegende Forderungen zu stellen, mit dem Ziel, den Winterschutz wieder stärker in das Bewusstsein zu rücken, z. B. in Form:

- einer denkmalpflegerischen Auflage im Vorfeld einer Konservierung bzw. Restaurierung,
- als Auflage für die Wartung und Pflege nach einer erfolgten Maßnahme;
- einer Anerkennung als zuschussrelevante Maßnahme außerhalb enger Bagatellgrenzen.

Dem Plädoyer für Wintereinhausungen darf abschließend hinzugefügt werden: manches Schutzgehäuse ist auch für Überraschungen gut, sofern man den inneren Wert richtig einzuschätzen weiß (Abb. 14).

Summary

Protective Winter Cladding for Weather-Endangered Objects.

Requirements for Preventive Protection

In Baden-Württemberg there was a tradition of providing sensitive stone objects with a protective covering during the winter months. The willingness to continue to do this has waned significantly. At the beginning of every winter well into the 1960s stone objects disappeared from view beneath winter casings of more or less elaborate design. Generally fountains, statues and also precious portals were protected from severe weather by means of simple plank casings. In the spring they came back into view and the planking and/or protective material was stored in the depot until it was needed again.

The necessity of erecting this type of winter protection was generally accepted and had not been disputed into modern times, even though there was no measurement data which could have given objective support to the experts' judgements. The objects were protected because experience had shown that particularly the wet and frosty winter months caused damage to the stone.

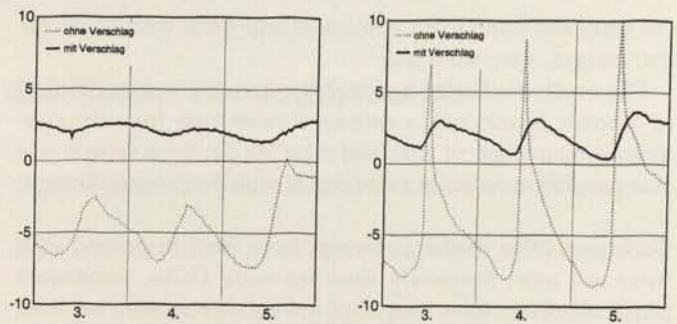


Abb. 11a-b. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Nord- (a) und Südportal (b): Oberflächentemperatur während dreier Sonnentage im Januar, mit und ohne Verschlag.

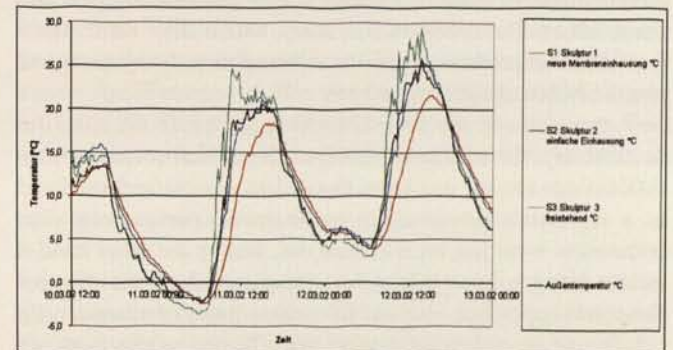


Abb. 12. Weikersheim, Schlosspark: Vergleich der Skulpturentemperaturen mit neuer Membraneinhausung (Abb. 13), einfacher Einhausung (Abb. 8) und freistehend.

In Baden-Württemberg extensive measurements were made for the first time in this context during restoration and conservation of the portals of the cathedral in Schwäbisch Gmünd. At the suggestion of the restorers the measurements (conducted by the Fraunhofer Institute) not only covered exterior surfaces but were also taken in the depths of the materials. All the portals on

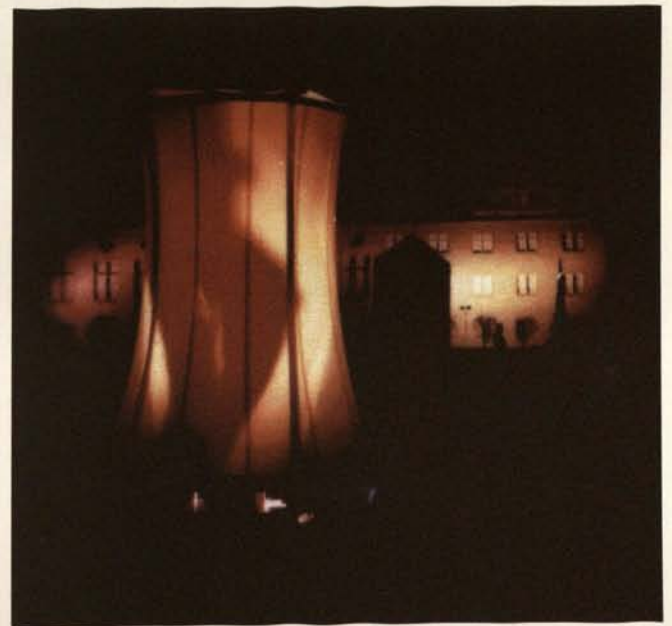


Abb. 13. Weikersheim, Schlosspark, Gartenskulpturen mit neuer Membraneinhausung.

the north and south sides, some with and some without protective casings, were surveyed.

The results confirmed the view that already a simple covering of wooden boards offers enormous protection from the continuous fluctuation of frost and thaw. At the same time it was also possible to establish a correlation with the existing damage.

Such protective winter coverings have been dispensed with more and more frequently since the early 1970s. Sometimes financial reasons have been cited and sometimes there has been a reluctance to conceal the stone monuments from the tourists (for instance when fees are charged to visit a park).

For this reason the State Conservation Office suggested a research project under the German Federal Foundation for the Environment (DBU) to test possibilities for erecting transparent, effective winter coverings which would not have a hot-house effect. The results of this study, which show for instance that effective protection can be achieved already by means of plastic sheets, are presented here.

In summary, the demands for winter protection seem to be re-established. On the one hand this practice is being formulated as a legitimate preservation requirement, particularly after restoration work has been carried out, and on the other hand it is also being acknowledged as a measure which qualifies for financial support (i.e., beyond the narrow limits of minor work).

Information and requirements for effective winter cladding are also summarized.

Abb. 14. Aschhausen, Gem. Schöntal, Schlosspark: ehem. Trumeaumadonna vom Liebfrauenportal der Kathedrale in Metz mit Winter-einhausung.



Literaturverzeichnis

Rolf WIHR, Restaurierung von Steindenkmälern. Ein Handbuch für Restauratoren, Steinbildhauer, Architekten und Denkmalpfleger, München 1980, S.140–142.

Gerd BAUER, Was tun bei Steinzerfall, in: Denkmalpflege im Rheinland 4, 1985, S. 13–16.

Gottfried HAUFF, Karl FIEDLER, Bärbel MAIER-HERRMANN, Juliane WEIGELE, Zur Konservierung der Portalskulptur des Heilig-Kreuz-Münsters in Schwäbisch Gmünd, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg, Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 19, 1990, S. 80–87.

Helmut F. REICHWALD, Schwäbisch Gmünd, Heiligkreuzmünster – Restaurierungen der Chorportale, in: Erwin EMMERLING, Detlef KNIPPING, Franz NIEHOFF, Das Westportal der Heiliggeistkirche in Landshut (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 106), München 2001, S. 217–222.

Berichte zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland 10, Vorsorge, Pflege, Wartung. Empfehlungen zur Instandhaltung von Baudenkmalern und ihrer Ausstattung, hg. von der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, 2002.

Rainer BLUM, Bericht über die Denkmaleinhausung in Clemenswerth und Weikersheim, Projekt Winterzeit, 02.07.2002, Laboratorium für Dynamik und Optik (MS).

RESTAURO. Zeitschrift für Kunsttechniken, Restaurierung und Museumsfragen 7, 2005, S. 470–471.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 3, 4, 8, 14: Otto Wölbert, Landesamt für Denkmalpflege, Esslingen (Archiv Restaurierung); Abb. 2: Paul Weinmann, Schwäbisch Gmünd; Abb. 7a-b, 9a-b, 10a-b, 11a-b: Holz – Großinsky, 1994, IBP-Bericht FB-51, Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Abb. 5–6: Gottfried Hauff, Potsdam; Abb. 12, 13: Rainer Blum, Stuttgart.

Die Auswirkung von Schutzverglasungen auf Konservierungskonzepte für historische Glasmalereien.

Fallbeispiele aus Köln, Trier, Esslingen und Ulm

Welchen Einfluss hat der Einbau einer Schutzverglasung auf Konservierungsmaßnahmen an Glasmalereien? Was kann, was darf man bei der Durchführung von Maßnahmen wagen und welche Eingriffe und Materialien können erspart bleiben? Ist mit dem Einbau einer Schutzverglasung bereits eine Garantie für eine erfolgreiche Konservierung des Fensters gegeben? Eindeutige Antworten auf diese Fragen sind nicht möglich, denn dazu ist jeder Fall zu eigen und muss für sich betrachtet werden. Anhand einiger Beispiele sollen hier Vor- und Nachteile und die mit dem Einbau einer Schutzverglasung verbundenen Risiken aufgezeigt werden.

Ursprünglich übernimmt eine Glasmalerei neben der künstlerischen Ausstattung des Raumes auch die Funktion des Raumabschlusses und ist somit der natürlichen Alterung durch Wind, Regen und Temperatur ausgesetzt. Dies führt zu starken Belastungen der einzelnen Materialien wie Blei, Kitt, Glas und Bemalung. Hierin ist bereits die Ursache zahlreicher Schäden zu sehen. Die Folge sind die Verwitterung der Glasoberfläche, Glasbruch, Rissbildung, Ausflinsungen, Craquelébildung oder Verluste der Bemalung und Brüche sowie Verformungen des Bleinetzes, um nur die häufigsten Schäden zu nennen. Zu der natürlichen Alterung trat verstärkt seit der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts eine weitere immissionsbedingte Schädigung, die zur beschleunigten Korrosion des Glases führte.

Historische Glasfenster wurden im Laufe ihrer Geschichte für die Gewährleistung ihrer Funktion regelmäßig gewartet und repariert. Diese Maßnahmen erfolgten noch ohne den Einbau einer Schutzverglasung, weshalb die Fenster und deren Materialien weiterhin den starken witterungsbedingten und statischen Belastungen ausgesetzt waren. Ziel der Maßnahmen war, das Fenster wieder dicht und stabil zu machen sowie seine Lesbarkeit zu erhalten. Daraus folgte von Fall zu Fall ein vergleichsweise großes Ausmaß bei den Eingriffen in die Substanz. Zu den häufigsten Maßnahmen zählten die Reinigung, das Ausbessern der Bleinetze und das Auswechseln gebrochener Glasstücke.

Manchmal wurde sogar mehr gemacht. So wurden Gläser neu bemalt und wieder eingebrannt. Das zog zwangsläufig auch eine Neuverbleiung und Verkittung der Fenster mit sich. Dies wird am Beispiel des um 1260 entstandenen älteren Bibelfensters in der Achskapelle des Kölner Domes (Abb. 1) deutlich: Hier erfolgte eine nachweislich umfangreiche Restaurierung zu Beginn des 20. Jahrhunderts. An der alten, teilweise verlorenen Bemalung erfolgten hier umfangreiche Nachbemalungen, die dann eingebrannt wurden (Abb. 5).

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts vollzog sich ein Wandel in der Konservierungspraxis. Der Erhalt der historischen Substanz trat in den Vordergrund. Dafür wurden zunehmend unterschiedliche Verfahren entwickelt, beispielsweise die Methode der Überglasung, bei der man feinstes Glaspulver auf die Glasoberfläche auflegte und einbrannte. In zunehmenden Maße spielte aber

auch der Einsatz von Kunstharzen eine wichtige Rolle. Doch alle organischen Materialien, also auch Kunstharze, altern, vergilben oder verspröden. So kommt es auch hier zu zahlreichen späteren Veränderungen und Schäden. Dies wird deutlich an einem Beispiel aus einem Nordseitenschiff - Fenster im Kölner Dom, wo das Kunstharz Disbon (Firma Disbon, Ober-Ramstadt) zur Sicherung von Sprüngen eingesetzt wurde. Hier lösten sich Teile dieses Klebers bereits nach einigen Jahren. Damit verbunden entstanden an den Bruchkanten der Gläser kleine Ausflinsungen (Abb. 6). Auch Wachsbeschichtungen erfolgten zur Sicherung gefährdeter Oberflächen, wie zum Beispiel an den mittelalterlichen Chorfenstern des Erfurter Domes. Heute haben sich dort Teile der flächig aufgetragenen Beschichtungen wieder vom Glasuntergrund abgelöst.

Seit den 1950er Jahren kam es – zunächst nur vereinzelt, später aber immer verbreiteter – zum Einsatz von Schutzverglasungen. Heute ist dies für mittelalterliche Glasmalereien bereits ein Standard. Für Glasmalereien des 19. und des 20. Jahrhunderts sollte dies auch so sein. Mit dem Einbau einer Schutzverglasung wird an Stelle der originalen Glasgemälde eine Schutzscheibe als Raumabschluss eingesetzt. Die originalen Fenster werden um einige Zentimeter zum Innenraum hin vor dieser Schutzscheibe auf einer Trägerkonstruktion montiert und somit einem konstanten Innenraumklima ausgesetzt. Sie müssen nicht mehr als Raumabschluss funktionieren, was zur Folge hat, dass die Belastung der einzelnen Materialien stark verringert wird. Unerlässlich für ein solches System ist eine ausreichende Belüftung im Spalt zwischen den Scheiben. Neben diesen direkten Folgen für die Glasmalereien selbst hat die Schutzverglasung noch indirekte Folgen: Sie ermöglicht einen weitaus zurückhaltenderen Eingriff bei der Restaurierung. Dennoch ist die Schutzverglasung allein kein Garant dafür, dass ein Glasgemälde konservatorisch ausreichend geschützt ist. Die Alterung des Glasgemäldes wird durch den Einbau einer Schutzverglasung verlangsamt, aber nicht gestoppt. Man wird nicht von der Notwendigkeit befreit, jedes Fenster individuell zu betrachten: daher ist zunächst eine gründliche Voruntersuchung unerlässlich.

Eine solche Untersuchung muss bereits in situ beginnen. Denn hier ergeben sich wichtige Hinweise auf Schadensursachen, die sowohl bei der Planung einer Schutzverglasung als auch bei den Restaurierungsmaßnahmen berücksichtigt werden müssen. Darin müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

1. Schadensursachen: Diese lassen sich bereits in der Fensterumgebung finden. Dazu zählen Schäden am Steinwerk ebenso wie an der Eisenkonstruktion zum Halt der Felder. Auch funktionale und ästhetische Mängel einer bereits vorhandenen Schutzverglasung müssen festgehalten werden.
2. Vorbereitung der Demontage: Bereits hier muss erkannt werden, wo Substanz gefährdet ist und ob nicht zusätzliche Sicherungsmaßnahmen vor dem Ausbau und Transport erfolgen müssen (Abb. 2).

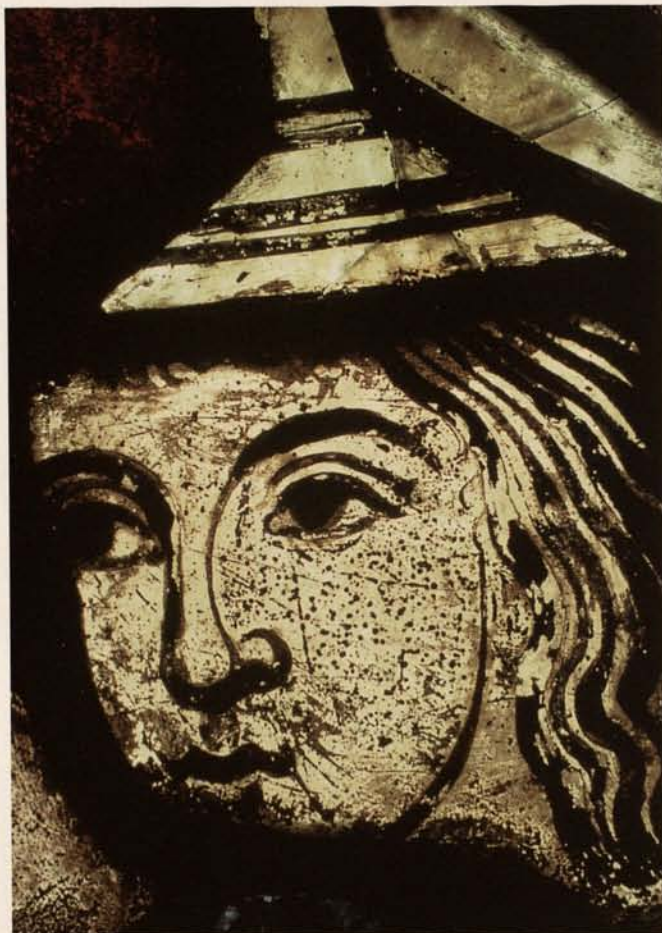


Abb. 1. Köln, Dom, Älteres Bilbelfenster, Feld 5a, Detail: Kopf des Elkana (1991).

3. Wiedereinbau: Probleme, die sich mit dem Wiedereinbau der Fenster vor der Schutzverglasung ergeben können, müssen rechtzeitig erkannt werden.

Erst in Verbindung mit den hier gesammelten Informationen kann die weitere Untersuchung der einzelnen Felder in der Werkstatt erfolgen und ein auf den Einbau der Schutzverglasung abgestimmtes Konservierungskonzept erstellt werden.



Abb. 2. Schwäbisch Gmünd, Heilig-Kreuz-Münster, Fenster nV, außen: Vorsicherung (in situ) der gefährdeten blauen Emailfarbe mit Paraloid B 72 (2001).

Dennoch werden die verbesserten Bedingungen, die sich mit dem Einbau einer Schutzverglasung ergeben, in der heutigen Praxis bei der Durchführung von Maßnahmen nicht immer ausreichend genutzt. Die Gründe hierfür sind vielfältig, beispielsweise wenn die Rahmenbedingungen für eine Konservierung nicht stimmen. Nicht selten trägt dazu eine Ausschreibung bei, die lediglich nach der Vergabeordnung für Bauleistungen (VOB) erfolgt und viel zu pauschal ist, um den Anforderungen einer Konservierung gerecht zu werden. Dabei ermöglichte erst der Einbau von Schutzverglasungen, dass sich das Niveau der Konservierung von Glasmalereien bis heute weitgehend an dasjenige vergleichbarer Restaurierungsdisziplinen wie der Wandmalerei- oder Gemälderestaurierung annähern konnte.

Fallbeispiel Köln:

Schritte dieser Entwicklung lassen sich am Beispiel der Restaurierung eines der mittelalterlichen Chorbereichenfenster des Kölner Domes nachvollziehen. Für dieses vierbahnige Fenster wurde Ende der 1970er Jahre die erste Schutzverglasung im Obergadenbereich geplant. Die Fensterbahnen A und B wurden 1980, C und D 1997 restauriert. In ihrem Vorzustand wiesen die meisten Gläser beidseitig starke Korrosion auf. Die Oberflächen waren von teilweise sehr dichten Korrosionsablagerungen bedeckt, die die Durchsicht der Gläser stark verminderten. Die Schwarzlotbemalung hatte sich teilweise vom Glas gelöst. Bei der Reinigung der Gläser war es 1980 in Fachkreisen einhellige Meinung, dass ein weitgehender Abtrag dieser Korrosionsablagerungen aus konservatorischer Sicht notwendig sei, um so den Feuchtehaushalt an der Oberfläche möglichst weitgehend zu reduzieren. Somit wurden an den Bahnen A und B nahezu alle Ablagerungen bis auf die darunterliegende Glasoberfläche mechanisch mit Pinseln, Glasfaserstift oder Skalpell abgetragen. Dies war aus damaliger Sicht eine angemessene Reinigung. Aus heutiger Sicht ging dies allerdings zu weit.

Für die Restaurierung der beiden angrenzenden Bahnen C und D erfolgten Voruntersuchungen im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unterstützten Forschungsprojektes zur Konservierung historischer Glasmalereien, das auch die Problematik von Reinigungen behandelte. Die Untersuchungen sollte unter



Abb. 3. Köln, Dom, Fenster nVI, Feld 12dr, Reinigungsproben: von rechts unbehandelt, weicher Pinsel, Wish-ab-Schwamm, härterer Pinsel und Skalpell (1994).

anderem klären, welche Reinigungsmethode besonders im Hinblick auf eine vorhandene Schutzverglasung und der damit verbundenen stabilen klimatischen Situation für stark korrodierte Oberflächen am schonendsten sei. Dazu ist es wichtig zu wissen, wie sich die Glaskorrosion abspielt: Durch den Einfluss von Feuchtigkeit werden aus dem Glas Alkalien und Erdalkalien ausgelaugt. In Verbindung mit Schwefeldioxid aus der Luft entstehen Korrosionsablagerungen aus Gips und Syngenit an den Oberflächen (Abb. 8).

Im Rahmen des Forschungsprogrammes war es möglich, anhand von Querschnittsaufnahmen der Gläser mit dem Rasterelektronenmikroskop zwischen dem erhaltenen Glas, der ausgelaugten Gelschicht und den unterschiedlichen Korrosionsschichten deutlich zu unterscheiden. Zugleich erweiterten sich die naturwissenschaftlichen Kenntnisse. Lange ging man davon aus, dass die Korrosionsschichten komplett entfernt werden müssten, selbst wenn die Gelschicht damit verbunden war. Heute weiß man, dass sie erhalten bleiben muss, denn sie stellt für das gesunde Kernglas gewissermaßen eine Schutzschicht dar. Das bedeutet, dass die Gelschicht bei einer Reinigung nicht verletzt werden darf. Allerdings ist es so, dass die Korrosionsablagerungen, da sie aus Salzen bestehen, Feuchtigkeit anziehen, die wiederum den weiteren Korrosionsprozess fördert. Somit muss das Ziel einer Reinigung sein, die feuchteanziehenden Ablagerungen zu reduzieren ohne die Gelschicht zu verletzen. Da sich zwischen Gelschicht und Korrosionsablagerungen keine definierbare Grenze ausmachen lässt, ist dies eine theoretische Forderung, die in der Praxis nicht wirklich eingehalten werden kann. Bei einem Reinigungsvorgang muss deswegen mit höchster Vorsicht darauf geachtet werden, dass ein gewisser Teil der Korrosionsablagerungen erhalten bleibt.

Im Fall des Obergadenfensters wurde ein auf die Bahnen C und D abgestimmtes Reinigungskonzept festgelegt. Dazu erfolgten Reinigungsversuche an sieben repräsentativen Glasstücken. Es handelte sich jeweils um bereits gebrochene Glasscherben. Entlang ihrer Bruchkanten wurden unterschiedliche Reinigungsstufen mit Pinsel, Wisch-ab-Schwamm und Skalpell vorgenommen (Abb. 3). Die Auswertung dieser Reinigungen erfolgte durch die Betrachtung im Querschnitt mit dem Rasterelektronenmikroskop (Abb. 4) in der Bundesanstalt für Materialfor-

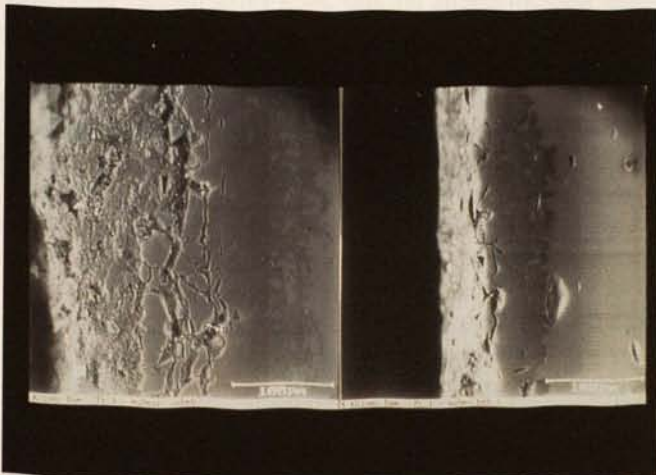


Abb. 4. Köln, Dom, Fenster nVI, Feld 12dr, Querschnitt des Glases: Aufnahme im Rasterelektronenmikroskop.

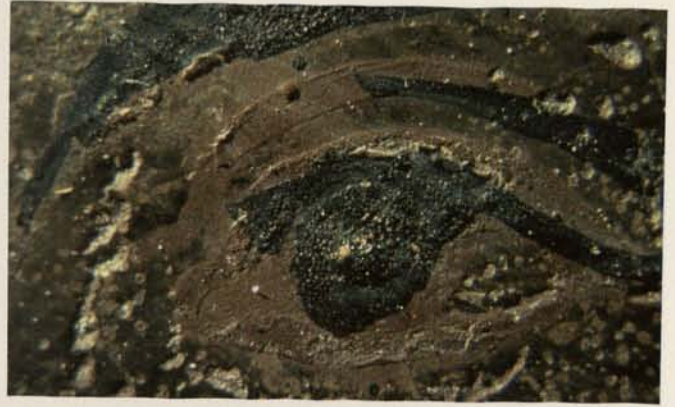


Abb. 5. Köln, Dom, Älteres Bibelfenster, Feld 5a, Detail: schwarze einbrennte Übermalungsfarbe (1991).



Abb. 6. Köln, Dom, Typologisches Dreikönigs-Fenster, Feld 7a, Detail: gealterter Disbonkleber über Glassprünge (1990).

schung und -prüfung. Hierbei ließen sich das intakte Glas, die Gelschicht, Mikrorisse sowie die Korrosionsablagerungen deutlich unterscheiden. Aus den Untersuchungen ging weiterhin hervor, dass die Gläser an der Außenseite eine sehr spröde, leicht verletzbare Gelschicht haben. Bei der Probereinigung mit einem weichen Borstenpinsel kam es hier zu geringfügigen Ausbrüchen der Gelschichten. Die Gelschichten an der Innenseite der Gläser waren durchweg stabiler.



Abb. 7. Trier, St. Matthias, Chorfenster, Feld 2c, Detail: ursprünglich verklebte Glasscherbe gekippt (2003).

Somit wurde entschieden, in einem ersten Schritt nur die losen Partikel der Korrosionsablagerungen vorsichtig mit einem weichen Pinsel auszdünnen, wobei es bereits zu leichten Aufhellungen der Gläser kam. In einem weiteren Schritt wurden an der Außenseite besonders fest aufliegende Korrosionsablagerungen partiell mit dem Skalpell geglättet, um an deren Oberfläche die Möglichkeit späterer Staub- und Schmutzansammlungen aus der Atmosphäre zu verringern. Für den Restaurator bestand dabei die Schwierigkeit, den Übergangsbereich zwischen Korrosionsablagerungen und Gelschicht zu ermitteln. Da dieser optisch nicht erkennbar ist, ist die Reinigung eine Gradwanderung. Hier muss ein Restaurator genügend Kenntnisse haben, die sich aus den Voruntersuchungen ergeben, und auf eigenen Erfahrungen aufbauen, um Glasstück für Glasstück eine kontrollierte Reinigung durchführen zu können. Die Konsequenz der beschriebenen Untersuchungen bedeutet für das Domfenster, dass die beiden Bahnen C und D optisch dunkler blieben als die 10 Jahre zuvor stärker gereinigten Bahnen A und B (Abb. 9).

Auch bei der Sicherung loser Bemalung ging man aufgrund erweiterter Kenntnisse anders vor und reduzierte diese auf ein Mindestmaß. Weniger gefährdete Bereiche wurden gegebenenfalls gar nicht mehr gesichert, sondern nur die besonders losen Teile der Malfarbe mit unterschiedlichen Verdünnungen von Paraloid B72 in Toluol. Jeder einzelne zu sichernde Farbpartikel wurde dabei für sich neu beurteilt und eine entsprechende Verdünnung der Lösung ausgewählt. Durch diese Vorgehensweise konnte der Einsatz des Sicherungsmaterials auf das unumgänglich notwendige Maß reduziert werden.



Der Einbau einer Schutzverglasung garantiert allerdings nicht, dass sich an den Glasoberflächen nicht neuerliche Staubansammlungen bilden, die erneut den Feuchtehaushalt an den Oberflächen erhöhen. Das ließ sich beispielsweise an den Bayernfenstern des Kölner Domes beobachten, wo sich Staubablagerungen im Randbereich der Scheiben bereits 10 Jahre nach dem Einbau der Schutzverglasung gebildet hatten, die auf Luftbewegungen im Bereich der Konvektionsschlitze zurückzuführen sind.

Fallbeispiel Trier:

Der Einbau einer Schutzverglasung ist eine Voraussetzung dafür, Glassprünge mit Kunstharzen dauerhaft verkleben zu können. Ohne Schutzverglasung würden die Harze der Witterung nicht standhalten. Darüber hinaus lässt sich auch der Umfang der Sprungklebungen stark reduzieren. Nicht mehr alle Sprünge müssen geklebt werden. Die Ansprüche, die man an Abdichtung und Stabilität stellen muss, reduzieren sich mit dem Einbau der Schutzverglasung von selbst. Ob ein Sprung tatsächlich geklebt werden muss, wie und mit welchem Material dies geschehen soll und wie eine schonende Nachreinigung erfolgen kann, hängt von dem jeweiligen Sprungbild ab. Vor der Entscheidung für eine Klebung muss jeder Sprung für sich beurteilt werden. Kriterien hierzu sind die Beschaffenheit der Sprungkanten, der Verlauf eines Sprunges, seine Position im Feld und die Dicke des Glases. Zugleich muss ein stabiler Einbau des Feldes vor der Schutzverglasung gewährleistet sein. Wie unterschiedlich diese Voraussetzungen sind, zeigt das Beispiel des um 1512 entstandenen Chorfensters in St. Matthias in Trier. Hier wurde 1992 eine neue innenbelüftete Schutzverglasung eingebaut. Die Oberflächen der Gläser waren kaum korrodiert, sie wiesen aber an der Oberfläche einen grauen abdunkelnden Schmutzfilm auf. Zudem fielen optisch störende Sprungbleie auf. Hier entschloss man sich, eine vorsichtige mechanische Reinigung vorzunehmen, einen Teil der Sprungbleie auszubauen und alle Sprünge mit Epoxydharz Araldit zu verkleben. Um die Stabilität der Felder zu erhöhen, erhielten diese eine neue Randeinfassung mit Messing-U-Profilen und zwei neue Windisen. Die Felder standen mit der Unterkante auf Gewindestäben auf und waren mit aufgeschraubten Deckschienen jeweils an der Ober- und Unterkante an die Quereisen angebracht. Seitlich lehnten die Ränder der Felder lediglich an der Steinwandung an.

Bei einer Kontrolle im Jahr 2003 zeigten sich gravierende neue Schäden, die eine schnelle Behandlung erforderten. Einige Sprungklebungen waren wieder geöffnet. Einzelne Scherben drohten herauszufallen (Abb. 7). Eine Überprüfung der Stabilität der Felder an Ort und Stelle zeigte, dass sie nicht ausreichte. Die Randeinfassungen waren zu schwach. Die Felder waren, da sie seitlich nur an den Steinen lehnten und nicht befestigt waren, leichten Schwingungen ausgesetzt. Es erwies sich als glücklicher Umstand, dass der Kleber nicht überall ausreichend ausgehärtet war und deswegen auch Schwachstellen innerhalb der Klebungen auftraten, so dass durch Bewegungen die Sprünge geöffnet wurden und nicht die Gläser brachen.

Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig die Sorge um eine ausreichende Stabilität trotz einer Schutzverglasung ist.

Abb. 8. Köln, Dom, Fenster nVI, Feld 4c, Detail: Korrosionsprodukte auf der Außenseite der Gläser (1994).



Abb. 9. Köln, Dom, Fenster nVI: Zustand nach der Restaurierung (2005).

Fallbeispiel Esslingen:

Ein vergleichbarer Schadensverlauf ließ sich 1994 bei der Untersuchung der mittelalterlichen Scheiben von St. Dionys in Esslingen beobachten. Bis zu diesem Zeitpunkt befanden sich diese Fenster vor einer älteren, 1975 eingebauten Schutzverglasung. Damals erhielten die Felder jeweils eine neue Randverstärkung mit Blei-U-Profil. An ihrer Unterkante standen sie wie in Trier auf zwei Gewindestäben auf, auf die Deckschienen geschraubt waren. Seitlich standen die Felder frei. Sie waren lediglich durch Bleiflanschen an den Stein angedrückt. Am Stainbüchelfenster waren einige der Medaillons zusätzlich mit einer älteren Abdeckung von 2 mm dicken Klargläsern – einer Trockendoublierung – versehen.

Bei der Untersuchung 1994 fiel eine Anhäufung von Bleibrüchen im oberen Teil, insbesondere an den Feldern mit den Doublierungen auf. Die Bruchkanten waren um einige Millimeter auseinander gezogen. Am unteren Rand der Felder waren die U-Bleie an den Auflagen zu den Gewindestäben bis zu 8 mm tief gestaucht mit der Folge, dass die in unmittelbarer Nähe liegenden Gläser gesprungen waren.

Bei diesen Schäden spielten mehrere Faktoren eine Rolle: So waren die Bleie des 19. Jahrhunderts relativ weich. Die partiell aufgelegten Doublierungen erhöhten das Gewicht innerhalb des Bleiverbundes. Die seitlichen Ränder der Felder waren nicht ausreichend befestigt. Das Bleinetz sackte daraufhin leicht nach unten ab. Dadurch entstand im oberen Bereich, wo die Bleie

fest mit den Deckschienen befestigt waren, eine starke Zuglast, was zu den Brüchen der Bleie führte. Bei der anschließenden Restaurierung erhielten die Felder neue Randverstärkungen und eine zusätzliche Stabilisierung der Unterkanten durch das Aufstecken von Messing-U-Profilen über die Bleiränder. Darüber hinaus wurden die Bleibrüche im Feld nachgelötet und die belastenden Doublierungen entfernt.

Die Beispiele von Trier und Esslingen machen deutlich, dass trotz einer Schutzverglasung die Felder eine ausreichende Befestigung haben müssen. Eine Schutzverglasung darf nicht dazu verleiten, weniger zu stabilisieren.

Fallbeispiel Ulm:

Ein Beispiel dafür, wie sich der konservatorische Spielraum bei der Behandlung eines Fensters mit dem Einbau einer Schutzverglasung vergrößert, bietet die kürzlich erfolgte Restaurierung des Westportalfensters im Ulmer Münster (Abb. 12). Dieses Fenster entstand um 1440 in der Werkstatt Hans Ackers in Ulm. Im Laufe der Geschichte wurde es zahlreichen Reparaturen unterzogen. 1976 erhielt das Fenster eine Schutzverglasung aus Gartenglas, die allerdings unbelüftet war. Die Scheiben befanden sich vor der aktuellen Restaurierung in einem teilweise beklagenswerten Zustand. Die gravierendsten Veränderungen und Schäden waren: Beidseitig aufliegende, teilweise sehr dichte Korrosionskrusten und Verschmutzungen sowie Spuren unterschiedlicher teils gefährdeter Übermalungen

sowohl auf der Vorder- wie auf der Rückseite. Weiterhin fielen mit starkem Lichtkontrast zahlreiche ältere Glasergänzungen früherer Restaurierungen auf. Die Verbleiung des 19. Jahrhunderts wies viele Brüche und Bauchungen auf. Außerdem durchzogen an vielen Stellen Sprungbleie oder Bleischalen die gebrochenen Gläser, was zu einer stark verminderten Lesbarkeit der Bilder führte.

Bei der Erstellung eines Konservierungskonzeptes standen die Sicherung gefährdeter Substanz und eine Verbesserung der Lesbarkeit im Vordergrund. Das Fenster befindet sich an der Westseite des Münsters und ist starker Sonnenbestrahlung ausgesetzt. Zudem wandern Schlagschatten im Laufe eines Tages über das Fenster, wodurch die historischen Materialien stärker beansprucht werden. So war ein Bestandteil des Konservierungskonzeptes die Prüfung der klimatischen Situation und die anschließende Planung einer neuen, belüfteten Schutzverglasung. Hierzu wurden im Auftrag des Landesamtes für Denkmalpflege, Esslingen, an unterschiedlich gefärbten Testgläsern in situ Temperaturmessungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Gläser des Fensters im Verlauf eines Tages hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt waren. Auffallend sind dabei die besonders kurzen Intervalle dieser Schwankungen, die sich durch wechselnde Verschattungen ergeben. Deswegen war zu befürchten, dass dieses Fenster vergleichsweise starken Belastungen durch Materialspannungen ausgesetzt ist. Somit entschloss man sich, für die neue Schutzverglasung ein spezielles Verbundssicherheitsglas, das die Wärmetransmission deutlich verringert, einzusetzen (Abb. 11). Erst damit wurden die Voraussetzungen für eine vorsichtige Restaurierung und Konservierung der Felder geschaffen.

Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

1. In der Szene „Kreuzigung Christi“ in Feld 2f lag über Resten der Originalbemalung ein wohl im 19. Jahrhundert kalt aufgetragener Farbüberzug. Dieser Überzug wies zahlreiche Ausbrüche und feine Risse auf. Man musste befürchten, dass er aufgrund von Materialspannungen die darunter liegenden Reste der originalen Bemalung gefährdete. Somit schien aus konservatorischer Sicht eine Abnahme geboten. Optisch hätte dies auch zu einer Aufhellung der Gläser und verbesserten Lesbarkeit geführt. Um die Möglichkeiten hierfür zu prüfen, erfolgte zunächst eine Analyse des Überzuges. Demnach handelte es



Abb. 11. Ulm, Münster, Westportalfenster: Einbau der neuen Schutzverglasung (2003).

sich um eine spätere Kaltmalerei bestehend aus einem trocknenden Öl und Chromoxidgrün. Eine mechanische Trennung von den darunter liegenden originalen Bemalungsresten war nicht möglich, da diese fest miteinander verbunden waren. Bei dem Versuch, den Überzug mit Isopropanol anzuweichen und anschließend kontrolliert abzutragen, zeigte sich, dass auch kleinste Partikel der darunterliegenden restlichen Originalbemalung mit gelöst und somit verloren zu gehen drohten. Das Schädigungspotential bei einer Abnahme des Überzuges lag somit höher als das Risiko, den Überzug bei den verbesserten klimatischen Bedingungen vor einer Schutzverglasung zu belassen. Deswegen verzichtete man in diesem Fall auf die Abnahme und legte für diese Überzüge Nachsorgebereiche fest. Es wurde lediglich loser Staub von den Gläsern entfernt. Bei Fehlen einer Schutzverglasung hätte man anders vorgehen müssen und es wäre fraglich gewesen, ob die Übermalungen hätten erhalten werden können (Abb. 10, 13).

2. Die zurückhaltenden Reinigungsmaßnahmen an den Feldern erbrachten generell eine gewisse Aufhellung der Gläser sowie eine verbesserte Lesbarkeit. Dennoch verunklärten besonders

Abb. 10. Ulm, Münster, Westportalfenster, Feld 1f, Detail: miteinander fest verbundene Farbreste und Verschmutzungen auf der Glasoberfläche (2003).

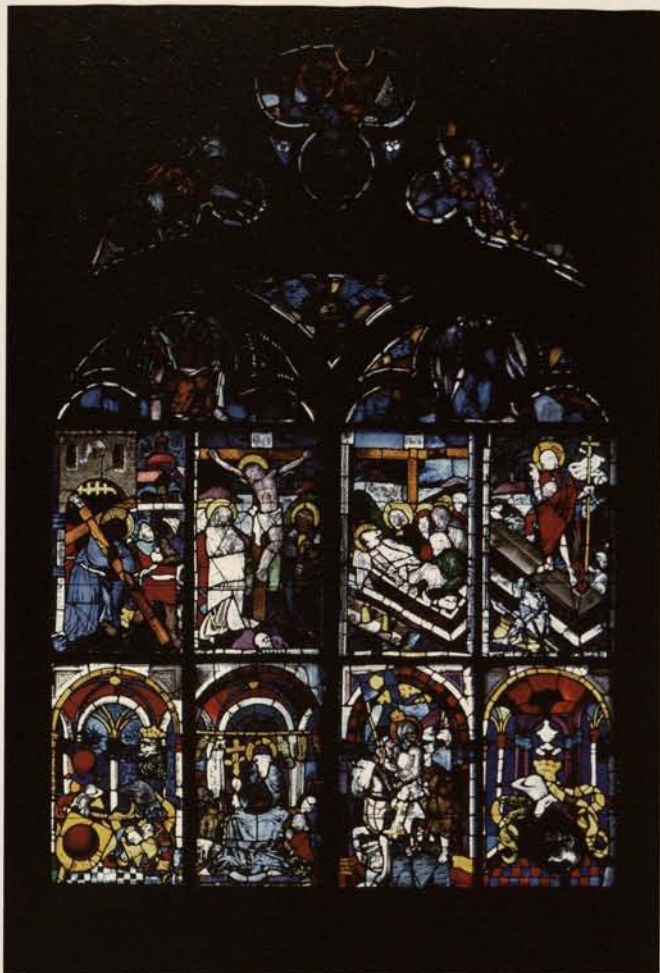


Abb. 12. Ulm, Münster, Westportalfenster: Zustand nach der Restaurierung (2005).

helle Glasergänzungen sowie einige hell herausstechende Ausflinsungen an der Oberfläche einzelner Originalgläser die Lesbarkeit der Bilder noch stark. Es stellte sich die Frage, ob diese Stellen belassen, durch Retuschen angeglichen oder mit einem neutralen Ton optisch angepasst werden sollten. Man einigte sich auf folgendes Vorgehen: Die störenden Stellen sollten nicht unbehandelt bleiben, da sie bei starkem Sonnenlichteinfall von Westen überaus stark überstrahlen würden. Eine rekonstruierende Retusche allerdings hätte zu einer nicht belegbaren Interpretation einzelner verloreener Details geführt und somit auch die Spuren früherer Eingriffe verfälscht. Daher wurde als angemessene Vorgehensweise eine Abtönung dieser Partien in neutralem Farbton angesehen, ähnlich wie dies auch bei der Restaurierung von Wandmalereien geschieht. Hierzu wurde auf der Rückseite einzelner heller Glasergänzungen sowie in überstrahlenden Ausflinsungen eine dünne Farblasur aufgetragen. Als Material wurde aus Gründen der Reversibilität Acrylfarbe ausgewählt. Somit war der Einbau einer Schutzverglasung in Ulm Voraussetzung dafür, dass an den Gläsern kalte Farbretuschen vorgenommen werden konnten und deren Erhalt garantiert wird.

Abb. 13. Ulm, Münster, Westportalfenster, Feld 1f, adorierende Stifterfiguren, Detail: Reste der ursprünglichen Bemalung (2003).

Ohne Nachsorge geht es nicht!

Diese Beispiele machen deutlich, welche Möglichkeiten bei der Restaurierung und Konservierung historischer Glasmalereien mit einem Einbau von Schutzverglasungen verbunden sind, aber auch, welche Grenzen bei diesen Möglichkeiten akzeptiert werden müssen. Natürlich wurde hier nur ein kleiner Ausschnitt möglicher Situationen präsentiert. Es ließen sich noch viele weitere Beispiele nennen. Aus diesem Grunde plädiere ich nachdrücklich für Nachkontrollen. Schon vor dem Wiedereinbau müssen absehbar kritische Bereiche textlich und bildlich festgehalten werden, um spätere Vergleiche zu ermöglichen. Möglichst noch während der Restaurierung müssen verbindliche Verabredungen für die regelmäßige spätere Zustandskontrolle getroffen werden. Die Wartung muss im Restaurierungskonzept formuliert sein. Für diese Nachsorge reicht es sicherlich nicht aus, lediglich die klimatische Umgebung des Fensters hinter der Schutzverglasung zu überprüfen. Die entsprechenden Felder müssen ausgebaut und genau kontrolliert werden. Kontrollen müssen sich ebenso auf historische wie auch auf neue, bei der jüngsten Restaurierung verwendete Materialien beziehen.

Diese Nachsorge ist in erster Linie Sache des Eigentümers. Doch sollte sich auch die Denkmalpflege verstärkt darum kümmern. In Zeiten allseits knapper Kassen ist es nicht nachvollziehbar, dass geringe Wartungskosten nicht förderfähig sind, große Eingriffe in die Originalsubstanz nach Jahrzehnten aber wohl. Ist es nicht so, dass man hier mit weniger Mitteln mehr erreichen kann?



Summary

The Effect of Protective Glazing on Conservation Plans for historical glass-paintings. Case Studies from Köln, Trier, Esslingen and Ulm

In what way does the installation of protective glazing influence the conservation plan for historic glass paintings? What can be risked when conservation measures are carried out and what type of work is it better to avoid? Does the installation of protective glazing already provide a guarantee for successful conservation of a window?

It is not possible to give definitive answers to these questions because every case is unique and requires its own special solution.

The discussion focuses first on work carried out earlier on historic glass windows without protective glazing and on the changes that came about with the increasing use of artificial resins after the beginning of the 20th century.

The installation of protective glazing not only improves the climatic conditions for historic glass paintings but also makes more highly differentiated interventions possible. These can be kept to the necessary minimum while at the same time providing maximum protection of the historic fabric. As a prerequisite meticulous preliminary investigations must be carried out, initially in situ.

This approach developed slowly at first, and it sometimes happened that despite the installation of protective glazing other measures which were too wide-reaching were also carried out.

The restoration of a clerestory window in the chancel of the Cologne cathedral provides an example of a conservation plan that is indeed coordinated with the protective glazing and

the improvements which the glazing brings about. The plan's main emphasis is on cleaning the glass and consolidating loose paint.

Nevertheless, protective glazing is no guarantee that new dust and dirt sediments will not form on surfaces again, as shown by the examples of the Bavaria Windows in the Cologne cathedral and the chancel windows in St. Denis in Esslingen.

The installation of protective glazing makes it possible to use artificial resins for gluing cracked glass; without the glazing the artificial resins would not withstand weathering. But despite installation of protective glazing new damages can develop on the glued joints, as shown by an example from St. Mathias in Trier.

Comparable damages also appeared later on the medieval windows of St. Denis in Esslingen.

The west portal window of the cathedral in Ulm is presented as an example of a conservation plan which was coordinated with the protective glazing. At the forefront of this plan was the treatment of cold overpainting done in earlier restorations, surface cleaning, and retouching in order to tone down extremely bright spots where glass had been replaced previously.

A further problem regarding cold retouching is illustrated on the example of the 19th century Bavaria Windows in the Cologne cathedral. These retouchings, done about 30 years ago and consolidated with silicone resin before installation of protective glazing, are now beginning to detach.

These examples document the advantages offered by the installation of protective glazing in regard to the restoration and conservation of glass paintings. Nonetheless regular maintenance, supervision and care of the glass paintings is imperative: only then is it possible over the long-run to avoid more extreme – and thus also more expensive – interventions.

Literaturverzeichnis

Stefan OIDTMANN, Die Schutzverglasung – eine wirksame Schutzmaßnahme gegen die Korrosion an wertvollen Glasmalereien (Diss. TU Eindhoven), Aachen 1994.

Peter BERKENKOPF, Otto WÖLBERT, Bärbel ROTH, Valentin SAILE, Zur Dokumentation, Konservierung und Restaurierung der Glasmalereien der Stadtkirche St. Dionys, in: Von der Ordnung der Welt, Mittelalterliche Glasmalereien aus Esslinger Kirchen, Ausstellungskatalog Esslingen 1997, S. 87–102.

Arnold WOLFF (Hg.), Restaurierung und Konservierung historischer Glasmalereien. Ein Förderprojekt des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Mainz 2000.

Ivo RAUCH, Ulmer Münster, Temperaturmessungen am Westfenster (west XIX), Auswertung nach achtmonatiger Messung, Koblenz 2002, Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Esslingen, Archiv Restaurierung (MS).

Valentin SAILE, Ulmer Münster Westportalfenster, Bericht/ Dokumentation zur Restaurierung der Glasgemälde, Stuttgart 2004, Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Esslingen, Archiv Restaurierung (MS).

Abbildungsnachweis

Abb. 1–3, 5–6, 8–9: Dombauhütte Köln; Abb. 4: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin (Repro Dombauhütte Köln); Abb. 7: Firma Binsfeld, Trier; Abb. 10, 13: Valentin Saile, Stuttgart (Archiv Landesamt für Denkmalpflege, Esslingen); Abb. 11: Otto Wölbert, Landesamt für Denkmalpflege, Esslingen; Abb. 12: Felix Pilz, Landesamt für Denkmalpflege, Esslingen.

Bauphysikalische Untersuchungen zur Gefährdung des Glasmalereibestandes in der Nürnberger Sebalduskirche.

Möglichkeiten und Grenzen der Wirksamkeit von Außenschutzverglasungen

1. Einleitung

Mittelalterliche Glasmalereien sind seit ihrer Entstehungszeit in ihrem Bestand durch unterschiedlichste Einflüsse gefährdet. In den vergangenen Jahrhunderten waren es neben „normalen“ eigenschaftsbedingten Alterungsvorgängen der Glasmalereien und damit zusammenhängenden klimatischen Einflüssen mutwillige Zerstörungen oder unterbliebene beziehungsweise unsachgemäße Restaurierungen, die zum Teil irreparable Schäden zur Folge hatten. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts führte eine ständig stärkere Umweltbelastung zu einer bis dahin nicht gekannten Schadensdynamik.¹ Aus heutiger Sicht trug auch die Anwendung ungeeigneter Restaurierungs- und Konservierungsmittel zu einer Verstärkung bekannter oder zum Entstehen neuer Schadensphänomene bei (Abb. 1, 4, 10).

Die dringend notwendigen Bemühungen zum Bestandserhalt lassen dann den größten Erfolg erwarten, wenn von Anbeginn eine Teamarbeit zwischen Glasrestaurator, Naturwissenschaftler und Architekt bzw. Bauphysiker möglich ist.

Dem Restaurator obliegt dabei ausgehend von der Kenntnis der Restaurierungsgeschichte sowohl die Zustandsüberprüfung und Zustandsdokumentation als auch die Konzipierung und Ausführung konservatorischer Maßnahmen. Zur Klärung der Ursachen für festgestellte Schadensphänomene wie auch zur Bewertung des Verhaltens verwendeter und geplanter Materialien bedient er sich der Hilfe des Naturwissenschaftlers. Die Erfassung und Bewertung der bauphysikalisch/raum- und außenklimatischen Einflüsse in ihrer Bedeutung für das Auftreten von Schadensphänomenen wie auch das Aufzeigen möglicher technischer Wege zum besseren Substanzschutz ist Aufgabe des Architekten und Bauphysikers.

Die größte Nachhaltigkeit ist dann zu erwarten, wenn auf der Grundlage dieser ganzheitlichen Voruntersuchungen ein gemeinsames Maßnahmenkonzept zur Verbesserung des Substanzschutzes entwickelt werden kann.

2. Gefährdungen von Glasmalereien aus bauphysikalisch-klimatischer Sicht

Beanspruchungen und Auswirkungen

Die Beanspruchungen, denen die Glasmalereien ausgesetzt sind, lassen sich, beschränkt man sich auf eine allgemeine Benennung, rasch aufzählen:

- Klimatische Beanspruchungen durch Außen- und Innenklima,
- Luftverunreinigungen (Schadgase, Schadstoffe, Staub, Kerzenruß),
- mikrobielle Beanspruchungen (Schimmelpilze, Bakterien).

Die Frage nach den Auswirkungen der Beanspruchungen erfordert eine nochmals differenziertere Betrachtung, sie setzt naturwissenschaftliche Untersuchungsergebnisse über die Eigenschaften historischer Gläser sowie verwendeter Restaurierungs- und Konservierungsmittel, die Kenntnis von Schadensphänomenen und Schadensmechanismen voraus.

Aus bauphysikalischer Sicht müssen hinsichtlich des möglichen Schädigungspotentials für die Glasmalereien weitere objektspezifische Faktoren einbezogen werden. Dies sind beispielsweise: Standortbedingungen, Baukörpergestaltung und Bauweise, Nutzungseinflüsse.

In dem komplexen Zusammenspiel von Materialeigenschaften und Beanspruchungen spielen bauphysikalisch-raumklimatische Aspekte eine wesentliche Rolle. So sind die Extremwerte, die Schwankungen und die Häufigkeit des Auftretens von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte von wesentlicher Bedeutung für chemische Reaktionen, Alterungs- und Ermüdungserscheinungen an den Glasmalereien und dem auch durch restauratorisch-konservatorische Eingriffe veränderten Aufbau. Das Mikroklima im Bereich der Glasmalereien bestimmt die Bedingungen für das Wachstum von Schimmelpilzen oder Bakterien. Von Bedeutung sind die „Folgen“ der Klimateinflüsse: das Auftreten von Tauwasser, Reif- oder Eisbildung an Oberflächen, luftströmungsbedingte Staub- und Schmutzverfrachtungen.

Jede zum Substanzerhalt oder zumindest zur Verlangsamung von Schadensprozessen vorgesehene Maßnahme zwingt damit auch zur Auseinandersetzung mit den am jeweiligen Objekt im Jahresgang vorhandenen klimatischen Randbedingungen und der Bewertung ihres möglicherweise schädigenden Einflusses als Ausgangspunkt für Überlegungen zum „technischen Beitrag“ für den Substanzerhalt.

3. Anwendung von Schutzverglasungen

3.1. Allgemeines

Außenschutzverglasungen zum Schutz von Glasmalereien vor mechanischen Beschädigungen, für den Wärmeschutz oder später verstärkt zum Schutz vor Umwelteinflüssen sind seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Nach dem Ende des 2. Weltkriegs fanden Schutzverglasungen in Form unterschiedlicher Konstruktionssysteme und Belüftungsvarianten immer stärkere Anwendung. In Deutschland hat sich dabei die „isothermale Schutzverglasung“ durchgesetzt. Bei der Untersuchung zur Eignung von Schutzverglasungen und ihrer konstruktiven Gestaltung hat sich Oidtmann¹ herausragende Verdienste erworben. Basierend auf umfangreichen Messungen und Untersuchungen in der Praxis wie unter Laborbedingungen wurden allgemeingültige Gestaltungsempfehlungen zur Optimierung der Geometrie von Luftspaltbreiten sowie zur Größe der Belüftungsöffnungen formuliert, die in den vergangenen Jahren

¹ Die Industrialisierung und der zunehmende Autoverkehr in den 1970er und 80er Jahren hat die Schadensprozesse deutlich beschleunigt.



Abb. 1. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sIX (sog. Paumgärtner-Fenster), Scheibe 2b: Maria mit Kind aus einer Epiphanieszene.

Praxiseingang und Praxisbestätigung fanden. Daneben existieren jedoch noch weitere Lösungen, teils ohne Anordnung von Belüftungsöffnungen oder mit nahezu abstandsloser Zuordnung von Schutzverglasung und Glasmalerei.

Bei einer Überprüfung von ausgeführten Schutzverglasungssystemen muss man allerdings auch feststellen, dass – je nach Ausführungsart und herrschenden Randbedingungen – mit der Wirkung einer Schutzverglasung allein nicht in jedem Falle solche Mikroklimaverhältnisse gesichert werden können, die dem restauratorisch angestrebten „Optimalzustand“ hinreichend nahe kommen.

So führte die Überprüfung der Schutzverglasungssysteme an den Nürnberger Kirchen beispielsweise zu dem Ergebnis, dass bei den ausgeführten Lösungen weiterhin folgende Auswirkungen zu erkennen sind:

- Verschmutzungen/Staubablagerungen an Schutzverglasung und Glasmalereien,
- Temperatur- und Luftfeuchtebeanspruchungen in substanzgefährdender/substanzschädigender Größenordnung,
- Tauwasserbildung an Schutzverglasung, teils auch an Glasmalereien.

Zudem wurde festgestellt, dass es trotz deutlicher Abweichungen von den allgemein als vorteilhaft angesehenen geometrischen Verhältnissen hinsichtlich Spalttiefe oder Größe der Belüftungsöffnungen Fälle gibt, die keine gravierenden negativen Auswirkungen zeigen. Beispielsweise trifft das auf die Schutzverglasungssysteme in der Frauenkirche München oder in der St. Lorenzkirche Nürnberg zu.

3. 2. Schutzverglasungssysteme an Nürnberger Kirchen

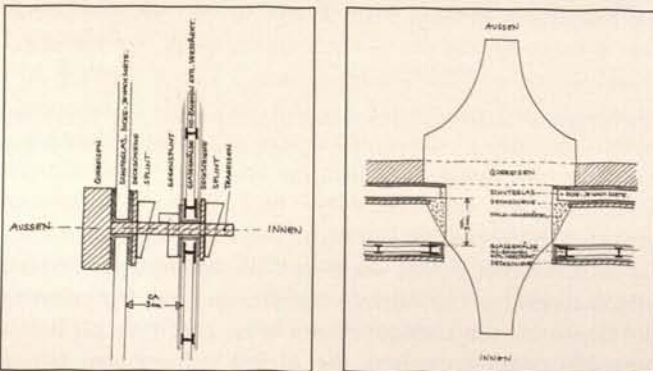
Die mittelalterlichen Glasfenster der Nürnberger Pfarrkirchen St. Lorenz und St. Sebald gehörten Mitte der Fünfziger Jahre zu den ersten Glasfenstern Deutschlands, die mit einer Schutzverglasung versehen wurden.

St. Sebald

Bereits 1956 erhielten die meisten Fenster in St. Sebald eine Schutzverglasung, bei der die einzelnen historien Glasmalerei-Felder ohne Abstand oder Hinterlüftung vor eine Schutzglasscheibe montiert wurden. Im Rahmen einer umfangreichen Maßnahme 1985–1992 wurde der Abstand auf 3–4cm vergrößert und eine Belüftung des Spaltes gewährleistet (Abb. 2a-b).

Die Anforderungen, welche die historischen Glasmalereien an das klimatische Umfeld stellen, werden trotz der Optimierung der Schutzverglasung nach derzeitigem Wissensstand

Abb. 2a-b. Nürnberg, St. Sebald: Längsschnitt (a) und Querschnitt (b) durch das Schutzglassystem (Zeichnung: Werkstatt Gustav van Treeck, München).



² Die Trocknungsspuren der Kondenswasserabläufe auf den historischen Glasfenstern wurden im Rahmen eines DBU-Projektes kartiert: DBU-Projekt „Beurteilung zurückliegender Erhaltungsmaßnahmen an den Glasmalereifenstern des 14.–16. Jahrhunderts in der Kirche St. Sebald in Nürnberg.“

³ Ausführung nach Empfehlungen auf Grundlage der Dissertation von Stefan OIDTMANN (s. Lit.).

Abb. 4. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sIX (sog. Paumgärtner-Fenster), Scheibe 2c: zwei Könige aus einer Epiphanieszene.

augenscheinlich nicht erfüllt. Eindeutige Anzeichen für eine hohe Feuchtebelastung sind massive Ablaufspuren von Kondenswasser an allen Glasfenstern,² frische Korrosion und neue Lockerungen neben zuvor gefestigten Malschichtschollen. Glaskorrosion unterwandert bemalte Oberflächen und führt ebenfalls zu Malschichtverlusten (Abb. 3, 5).

Ein weiteres Indiz für ungünstige Klimabedingungen sind Trocknungsränder und Salzausblühungen um die Bleiruten und mikrobieller Befall (Algen und Schimmelpilz). Vereinzelt waren an den historischen Glasfenstern sowie an der Innenseite der Schutzglasscheibe Schimmelpilz-Hyphen und Algenbewuchs zu erkennen.

St. Lorenz

Die Schutzverglasung in St. Lorenz entspricht bei den meisten Fenstern noch dem Stand von 1956, die einzelnen Glasmalefelder sind also nahezu ohne Hinterlüftung vor die Schutzverglasung gesetzt. Der vertikale Luftwechsel ist in diesen Fällen noch zusätzlich durch horizontal eingebaute L-Profile reduziert.

Trotz der vermeintlich ungünstigen Einbausituation zeigten sich bei einer Durchsicht aller Chorfenster im Sommer 2003 keine Ablaufspuren von Kondenswasser auf den Originalen. Auch war die Korrosion an den Rückseiten innerhalb von 30 bis 35 Jahren seit der letzten Restaurierung kaum fortgeschritten. Malschichtverluste auf der Vorderseite insbesondere des Chormittelfensters sind vermutlich auf alte Festigungsmittel zurückzuführen, die sehr empfindlich auf hohe Temperaturen reagieren.

Frauenkirche

Die Glasfenster der Frauenkirche in Nürnberg konzentrieren sich auf drei Chorfenster und ein Langhausfenster.

Die Schutzverglasung ist wie in St. Sebald seit etwa 17 Jahren auf dem derzeitigen Stand der Technik.³ Trotzdem waren beim Ausbau aller Fenster 2002 großflächig Ablaufspuren von Kondenswasser auf den Originalen, eine weit überdurchschnittliche Verschmutzung sowie massiver Schimmelbefall an der Innenseite der Schutzverglasung zu verzeichnen (Abb. 6, 7a).

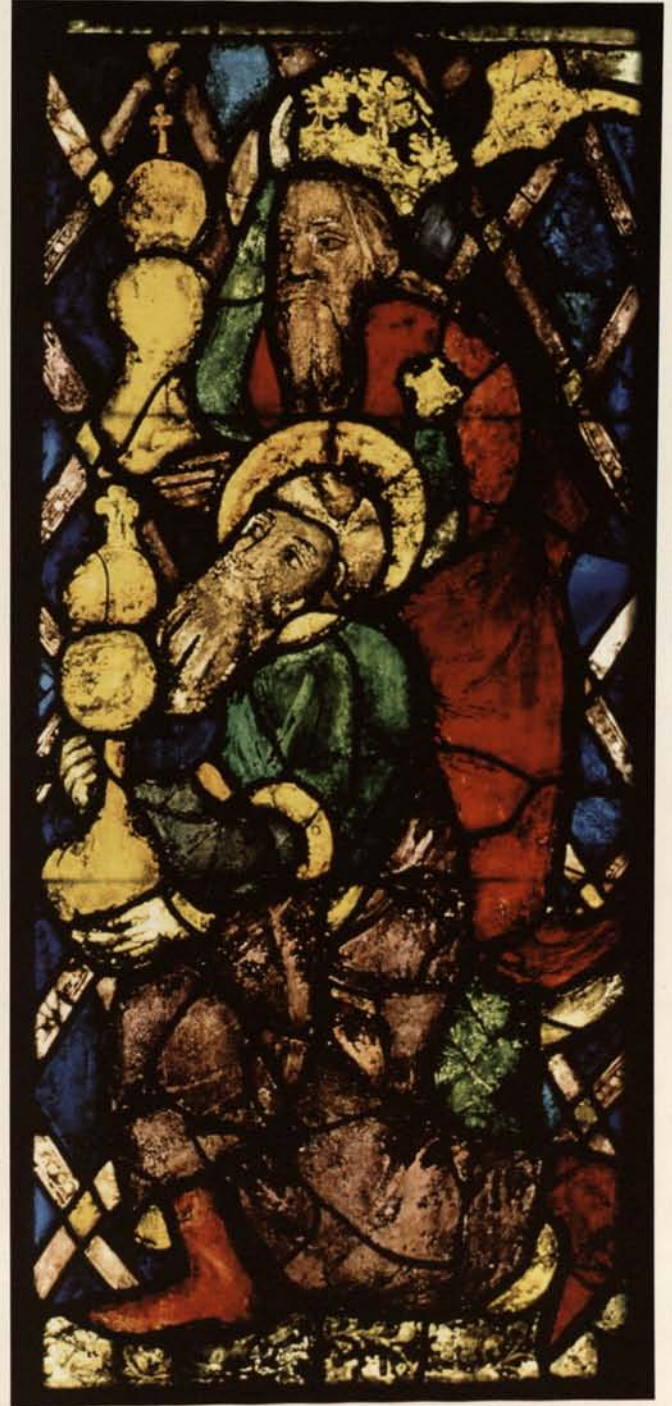


Abb. 3. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Fürer-Fenster), Detail: Nachwachsen der Glaskorrosion infolge der Kondenswasserbelastung.



Abb. 5. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nVI (Mendel-Fenster), Detail: Kondenswasserabläufe auf der Vorderseite der historischen Verglasung.



Die Ursachen für diese aus restauratorischer Sicht ungünstigen und teilweise überraschenden Befunde wurden durch langfristige Klimamessungen an allen drei Kirchen untersucht. Auf Grundlage dieser Messungen sollte anschließend ein auf die jeweilige Kirche zugeschnittenes Konzept zur Verbesserung der Klimasituation an den betroffenen Fenstern entwickelt werden.

4. Untersuchungen und Maßnahmen zur Verbesserung des Substanzschutzes

4.1. Restauratorisch-konservatorische Maßnahmen

4.1.1. Allgemeine Schadensprozesse bei historischen Glasmalereien

Glasgemälde sind Teil der Wand, und somit waren diese über Jahrhunderte allen schädigenden Einflüssen wie Witterung und Vandalismus ausgesetzt. Mittelalterliche Gläser sind, bedingt durch ihre Zusammensetzung, wesentlich weniger widerstandsfähig gegen Umwelteinflüsse als moderne Gläser. Der größte Feind aller Glasgemälde ist Feuchtigkeit in Kombination mit Schadgasen, insbesondere Schwefelverbindungen. Kondenswasser und Regen bilden mit diesen Schadgasen ein saures Milieu auf der Glasoberfläche. Auslaugungs- und Auflösungsprozesse führen im Laufe der Jahrhunderte zur Ausbildung dichter, undurchsichtiger Gips- oder Syngenitkrusten insbesondere auf der Außenseite der Fenster. Aber auch die Innenseiten der Fenster werden bei häufig auftretendem Kondenswasser durch Glaskorrosion und andere Schadensmechanismen, die zu Bemalungsverlusten führen, angegriffen.

In Deutschland sind daher nahezu alle mittelalterlichen Fenster mit einer Schutzverglasung versehen, um die Originale der Bewitterung zu entziehen. Dadurch haben sich die Schadensprozesse deutlich verlangsamt, die Bildung von Kondenswasser konnte jedoch durch diese Maßnahme nicht in allen Fällen verhindert werden.⁴ Auch wurden bereits in den Fünfziger Jahren bei der erstmaligen Durchführung dieser Maßnahme in Nürnberg Bedenken geäußert, die Südseitenfenster könnten sich durch Sonneneinstrahlung zu stark aufheizen.⁵

Im Rahmen einer Kontrolluntersuchung der Glasgemälde in St. Sebald waren im Jahre 2001 auch tatsächlich neue Schäden in Form von Malschichtlockerungen und frischer Glaskorrosion



Abb. 6. Nürnberg, Frauenkirche: massive Kondenswasserabläufe an den Rückseiten der historischen Verglasung.



Abb. 7a-b. Nürnberg, Frauenkirche: Glaskorrosion durch Schimmelpilze an sehr widerstandsfähigen Renaissance-Gläsern (a) und Einbau einer Schutzverglasung mit Isolierglas (b).

zu beobachten. Durch eine sehr umfangreiche Analyse der Oberflächen durch Chemiker und Mikrobiologen wurden neben den klimatischen Ursachen auch Schadensauslöser in den Glasgemälden selbst identifiziert.

4.1.2. Spezielle Problematik der Glasgemälde in St. Sebald

Die historische Verglasung der Sebalduskirche umfasst eine Fläche von etwa 250m² Glasmalerei aus vier Jahrhunderten (Abb. 24, 26). Dieser umfangreiche Bestand lässt sich in etwa drei Kategorien unterteilen. Kategorie 1 bilden die stark vorgeschädigten, korrosionsanfälligen, umfangreich restaurierten Fenster des 14. Jahrhunderts. Fenster dieser Kategorie finden sich fast ausschließlich auf der Südseite des Chores (Abb. 11b, 17).

In Kategorie 2 sind ebenfalls Fenster des 14. Jahrhunderts zusammengefasst. Diese befinden sich hauptsächlich auf der Nordseite des Chores. Die Fenster der Kategorie 2 wurden in den letzten Jahrhunderten weniger restauriert und sind weniger stark korrodiert. In dieser Kategorie ist die Wechselbeanspruchung weniger problematisch, aber hohe Feuchtigkeit (auch nur hohe Luftfeuchtigkeit) führen zu verstärkter Glaskorrosion und in Folge dessen auch zu umfangreichen Malschichtverlusten (Abb. 10, 11a).

⁴ Eine Überprüfung der Wirksamkeit vorangegangener Schutzmaßnahmen fand erstmals im Rahmen eines Wartungsvertrages mit Prof. Dr. Peter van Treeck im Anschluss an die Restaurierung aller Chorfenster 1986–1992 in St. Sebald statt.

⁵ Schriftwechsel zwischen den damals beteiligten Denkmalpflegern, Architekten und Restauratoren im Archiv der Lorenzkirche Nürnberg.

⁶ Analysen durch Prof. Dr. Rainer Drewello und Dipl.-Biol. Ursula Drewello im Rahmen des DBU-Projektes.

⁷ Nachgewiesen durch Dipl.-Biol. Ursula Drewello im Rahmen des DBU-Projektes.

⁸ Häufig wechselnde Klimabedingungen und eine relative Feuchte über 70% sind optimale Bedingungen für Schimmelpilzwachstum.

⁹ Naturwissenschaftliche Untersuchungen zum langfristigen Einfluss von unterschiedlichen Klimafaktoren auf Originalgläser mit Bemalung wurden bisher nicht durchgeführt; einige grundlegende Auswirkungen hoher relativer Feuchte oder Temperaturen finden sich bei KÜHN, FITZ, NEWTON – DAVISON.

Kategorie 3 bilden die recht harten Gläser der Dürerzeit. Sie befinden sich hauptsächlich auf der Ostseite des Chores (Abb. 12). Diese sind gegenüber Klimaschwankungen wesentlich widerstandsfähiger, und es sind meist ausschließlich die sehr differenzierten Malschichten gefährdet. Feuchtigkeit führt in diesen Fällen zu Malschichtkorrosion und mikrobiellem Bewuchs. Ablaufendes Kondenswasser und lange einwirkende Feuchtigkeit fördern Verschmutzung und führen mittelfristig zur Ausbildung harter, spröder Krusten auf der empfindlichen Bemalung.

Die Glasfenster der Sebalduskirche in Nürnberg sind zusätzlich zu der „normalen“ Schadensentwicklung bei historischen Glasmalereien durch umfangreiche Restaurierungsmaßnahmen stark beeinträchtigt. Sie wurden über mehr als fünf Jahrhunderte mit allen Mitteln, die der jeweiligen Zeit zur Verfügung standen restauriert, gefestigt und beschichtet. Insbesondere die vielfachen Festigungsversuche und Übermalungen mit organischen Materialien wie Kasein, Ölfarbe, Asphaltlack, Naturharzen und Kunstharzen stellen eine große Herausforderung für Restauratoren, Chemiker und Klimaspezialisten dar.⁶ Das Resultat dieser Restaurierungsmaßnahmen sind sehr heterogene Oberflächen, welche heute nahezu schwarze, undurchsichtige Häutchen bilden. Die Vorderseiten dieser Fenster sind ein regelrechtes Verbundsystem aus Korrosionsprodukten, Gelschicht, Glasmalschichten, Kaltübermalungen und Festigungsmitteln (Abb. 8a-b).

Diese vorangegangenen Restaurierungen sind irreversibel und die Optionen für weitere Maßnahmen aus restauratorischer Sicht äußerst begrenzt. Folglich kommt in diesen Fällen dem Umfeld und den präventiven Maßnahmen besondere Bedeutung zu. Die korrodierten, gefestigten Oberflächen bestehen in der Regel aus einer Kombination organischer und anorganischer Bestandteile. Dieses Paket aus Salzen und verschiedenen Bindemitteln reagiert besonders empfindlich auf häufige Wechsel von Feuchtigkeit und Austrocknung, hohe Temperaturen oder Frost. Es kommt zum „Arbeiten“ der verschiedenen Festigungs- und Bindemittel und zum Auskristallisieren oder Nachwachsen von Korrosion unter den organischen Filmen. Diese Schadensprozesse führen insbesondere an den Südfenstern der Kategorie 1 zur Ausbildung nahezu undurchsichtiger „Häutchen“ und schließlich zu Verlusten an Bemalung und originaler Oberfläche. Die besondere Gefährdung der Südfenster ist sicher

auch auf die extremen Klimabedingungen durch stärkere Aufheizung und Austrocknung infolge von Sonneneinstrahlung zurückzuführen (Abb. 9a-b).

Die Glaszusammensetzung der Fenster des 14. Jahrhunderts und insbesondere die der Sebalderscheiben ist darüber hinaus generell sehr empfindlich. Selbst konstant hohe Luftfeuchtigkeit oder hohe Temperaturen führen bei diesen Gläsern zu neuen Schäden.

Eine weitere Gefährdung der Glasgemälde ergibt sich durch einen ehemals sehr aktiven Schimmelpilzbefall auf der Innenseite der Fenster.⁷ Ein Stoffwechselprodukt dieser Schimmelpilze ist Oxalsäure, welche die Glasoberfläche massiv angreift. Bei günstigen Klimabedingungen für die Pilze können diese bedingt durch das große Nährstoffangebot in Form der organischen Beschichtungen jederzeit wieder aktiv werden.⁸ Eine intensive Kontrolle des Klimas und die Vermeidung von Tauwasserbildung auf den Originalen ist daher unerlässlich, um die Glasgemälde von St. Sebald vor weiterem Verfall zu bewahren.

4. 1.3. Restauratorisches Vorgehen

Wenn man die Wirksamkeit von Schutzverglasungen für Glasgemälde beurteilen will, muss zunächst festgelegt werden, welche Anforderungen Glasmalereien an Temperatur und relative Feuchte stellen. Grenzwerte oder Klimakorridore müssen für jedes Objekt individuell festgelegt werden. Glasfenster reagieren je nach Glassorte, künstlerischer Technik, Restaurierungsgeschichte und Oberflächenbeschaffenheit in unterschiedlichem Maße auf physikalische oder chemische Einflüsse.⁹

Für den Restaurator sind Anzeichen für ungünstige Klimabedingungen am Objekt selbst zu beobachten: frische Korrosionsprodukte oder Malschichtlockerungen deuten auf ungünstige Umgebungsbedingungen hin. Darüber hinaus sind Kondenswasserabläufe, Salzausblühungen um die Bleie oder biogener Bewuchs eindeutige Hinweise auf eine hohe Feuchtebelastung.

Wesentlicher erster Schritt ist deshalb die Überprüfung des Erhaltungszustands der Glasgemälde. Diese Arbeit umfasst sowohl die Erfassung und Bewertung von Schadensphänomenen als auch eine Beurteilung der Wirksamkeit früherer Erhaltungsmaßnahmen (Verwendung von Reinigungsmitteln, Festi-



Abb. 8a-b. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sV (Schürstab-Fenster), Detail im Auflicht: originale Oberfläche größtenteils erhalten, aber eingebettet in dichte Korrosionskrusten (a); und im Durchlicht: Bemalung durch starke „Verbräunung“ der Korrosionskrusten kaum noch lesbar (b).



Abb. 9a-b. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sVI (Behaim-Fenster), Details mit Schadensbild der sog. „Häutchenbildung“: schichtartiges Abblättern der originalen Oberfläche (a) und in Verbindung mit Blasenbildung an Oberflächen mit originaler Bemalung (b).



Abb. 10. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Fürer-Fenster), Scheibe 5b, Detail: adorierende Stifterin.

gungen usw.). Wesentliche Hilfe dabei bietet die Kenntnis der Restaurierungsgeschichte, der Materialeigenschaften und die Beurteilung der Auswirkungen von Klima- und Umwelteinflüssen. Ausgehend davon formuliert der Glasrestaurator die Fragestellungen an seine Team-Kollegen, wie zum Beispiel:

- Welche Materialeigenschaften sind vorhanden und wie wirken sie sich schädigend oder substanzerhaltend aus?
- Was sind die Ursachen für erkannte Schadensphänomene, und mit welcher Dynamik schreiten diese fort?
- Welche Zielvorstellungen zu den Umgebungsbedingungen sind aus der Sicht des Substanzschutzes anzustreben?
- Welche mikroklimatischen Bedingungen sind an den Glasgemälden vorhanden, welche Rolle spielen die Einflüsse aus Nutzung und Außenklima?
- Wie sind die Einbaubedingungen des Systems Glasgemälde/Schutzverglasung zu beurteilen?
- Welche Verbesserungsmöglichkeiten sind gegeben?

Im Rahmen der restauratorischen Untersuchungen wurden hinsichtlich Zustand und Schäden der Glasmalereien in der Sebalduskirche beispielsweise festgestellt:

- fortschreitende Glaskorrosion
- „Verbräunung“
- „Häutchenbildung“
- Krakelierung/Risse in der Malschicht

- Lockerungen/Ablösung von Malschichten/Malschichtverlust
- Ablaufspuren von Kondenswasser vorderseitig und rückseitig
- Staub- und Rußauflagerungen
- Biogener Befall.

Als Schadensursachen ergaben sich im Wesentlichen folgende Faktoren:

- Chemische Zusammensetzung des Glases
- Herstellungsprozeß und Künstlerische Technik¹⁰
- unterlassene Instandhaltung¹¹
- unsachgemäße Behandlung
- Umwelteinflüsse (Klima, Schadstoffe, mikroorganischer Befall).

Ausgehend von diesen Untersuchungsergebnissen wurde versucht, einen „optimalen“ Klimakorridor aus restauratorischer Sicht zu definieren:

- Lufttemperatur: 12°C bis 25°C (unter Beachtung der Differenz außen – innen).
- Relative Luftfeuchtigkeit: 45% bis 60% (unter Beachtung von Glasart und Schadstoffkonzentration).
- Temperatur- und Luftfeuchtewechsel: Größenordnung sowie Häufigkeit von Schwankungen möglichst minimal.
- Keine Tauwasserbildung an der Glasmalerei.

Eine Antwort im Hinblick auf die tatsächlich auftretenden Bedingungen sollten die entsprechenden Messungen geben.

4. 2. Mess- und Untersuchungsprogramm

Ausgehend von dem Ergebnis der restauratorischen Voruntersuchungen erfolgte zunächst der Versuch, einen prinzipiellen Zusammenhang von klimatischen Einflüssen und ihren Auswirkungen auf die Glasmalereien herzustellen. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt (Tab. 1).

Art der Klimateinwirkung	Auswirkung auf die Glasmalereien
Niedrige Temperaturen Frosteinwirkung	Austrocknung/Versprödung/Schrumpfung der Gelschicht
Häufige Frost-Tau-Wechsel	Mechanische Schäden an der Gelschicht, Risse, Krustenbildung
Hohe Temperaturen	Austrocknung der Gelschicht, Schäden an Festigungsmitteln, Förderung der Glaskorrosion
Temperaturwechselbeanspruchung	Reißen der Gelschicht, Krakelierung, Verstärkung der Glaskorrosion, Ablösungen
Hohe relative Luftfeuchtigkeit	Schäden an der Malschicht, Begünstigung von biogenem Befall
Geringe relative Luftfeuchtigkeit	Austrocknung und Schrumpfung der Gelschicht, Versprödung
Luftfeuchtewechselbeanspruchung	Reißen der Gelschicht, Verstärkung der Glaskorrosion
Tauwasser am Originalglas	Auslaugung, Kalk- und Salzablagerungen, Gefährdung der Bemalung
Staub- und Schmutzbelastung	Kein direktes Schadenspotential, aber Nährboden für mikrobiellen Befall

Tab. 1. Schematische Darstellung des Zusammenhangs von Klimateinwirkung und Schadensbildern an der Glasmalerei.

¹⁰ Als besonders problematisch erwies sich ein erster, sehr dünn vertriebener, glasmalerischer Überzug unter allen anderen Malschichten. Diese kupfergefärbte Glasmalfarbe ist vermutlich nicht ausreichend mit der Glasoberfläche verschmolzen.

¹¹ Zu Beginn des 19. Jahrhunderts müssen sich die Fenster laut MAYER in sehr schlechtem Zustand befunden haben.

Aus diesen Zusammenhängen ergaben sich die zu erfassenden Meßgrößen:

- Klimabedingungen außen und in der Kirche (Lufttemperatur, relative Feuchte)
- Auswirkungen kirchlicher Veranstaltungen
- Extremwerte und Häufigkeitsverteilung der Klimabedingungen am System Schutzverglasung/Glasmalerei (Lufttemperatur, relative Feuchte, Luftströmungen, Temperatur- und Feuchteverteilungen)
- Lokale Klimaunterschiede (horizontal, vertikal)
- Oberflächentemperaturen
- Tauwasserbildung und Frosttemperaturen an der Verglasung
- Luftströmungen im Spalt.

Die Messungen erfolgten in Form von Vertikalprofilen in unterschiedlichen Höhenstufen und als Horizontalprofile, insbesondere für die Oberflächentemperaturverhältnisse. Gemessen wurde jeweils an einer Lanzette auf der Nord- und Südseite. Die Messzeiträume umfassten überwiegend einen Jahreszyklus.

4. 3. Baulich-technische Möglichkeiten

Ein wesentliches Ergebnis der naturwissenschaftlichen Untersuchungen zum Ablauf von Schadensmechanismen und der Rolle von Klimafaktoren ist: Die Möglichkeiten zur Verbesserung des Bestandsschutzes müssen sowohl die winterlichen als auch die sommerlichen Beanspruchungen berücksichtigen.

Die Ergebnisse der umfangreichen messtechnischen Untersuchungen relativieren den Einfluss des Innenklimas und der Nutzung auf das Mikroklima am System Glasmalerei/Schutzverglasung. Selbstverständlich wirkt sich das Raumklima auf die Bedingungen am Fenster aus, nur wird sein Einfluss mit abnehmender Höhe der Lufttemperatur immer stärker durch den Einfluss des Außenklimas zurückgedrängt. Zudem darf es wohl zu Recht als Illusion angesehen werden, die Forderung



Abb. 12. Nürnberg, St. Sebald, Chormittelfenster, Detail: widerstandsfähige Gläser der Dürerzeit mit teilweise sehr gut erhaltenen Malschichten.



Abb. 11a-b. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nVI (Mendel-Fenster), Scheibe 2c, Begegnung an der goldenen Pforte: weniger Glaskorrosion als auf der Südseite, aber nahezu kompletter Malschichtverlust (a); Fenster sV (Schürstab-Fenster), Scheibe 3b, Beweinung Christi: umfangreiche Malschichtverluste und stark korrodierte Oberflächen (b).

einer Anhebung der Raumtemperaturen als Mittel zum Substanzschutz der Glasmalereien würde allgemeine Akzeptanz finden – schon die damit verbundene Heizkostenerhöhung setzt hier deutliche Grenzen.

Wenn man diese Einstellung (zwangsläufig) akzeptiert, so bleibt noch die Frage nach den Auswirkungen kirchlicher Nutzung auf Veränderung – sprich zeitweilige Verschlechterung – der klimatischen Verhältnisse an der Glasmalerei. Wie die Messergebnisse belegen, kann dieser Einfluss als im Vergleich zu den Außenklimaeinwirkungen durchaus untergeordnet beurteilt und somit für praktische Belange vernachlässigt werden.

Die Auswertung der in verschiedenen Kirchen durchgeführten Klimamessungen ergab durchweg Verhältnisse an der Schutzverglasung, die weit entfernt von Ideen im Sinne des definierten „optimalen“ Klimakorridors lagen. So wurde beispielsweise festgestellt:

- langfristig hohe relative Luftfeuchtigkeit im Spalt (Abb. 13),
- Tauwasserbildung an der Schutzverglasung und an der Glasmalerei,
- hohe sommerliche Temperaturen (Abb. 15) bzw. Frosttemperaturen im Winter, verbunden mit Eis- oder Reifbildung,
- intensive und rasche Temperatur- sowie Luftfeuchtwchselbeanspruchungen (Abb. 14).

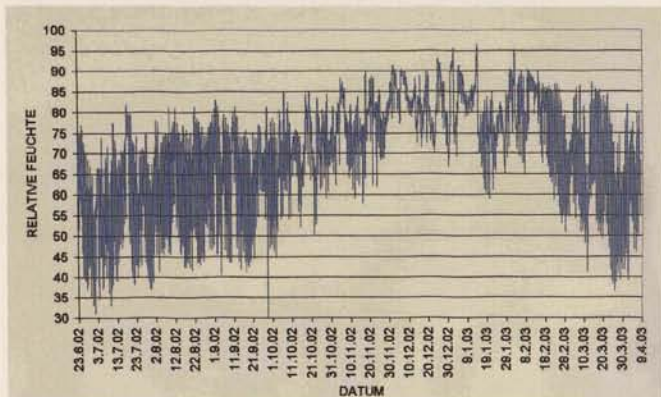


Abb. 13. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Furer-Fenster), Messung im Spalt: Schwankungen der relativen Feuchte an der Glasmalerei im Jahresgang.

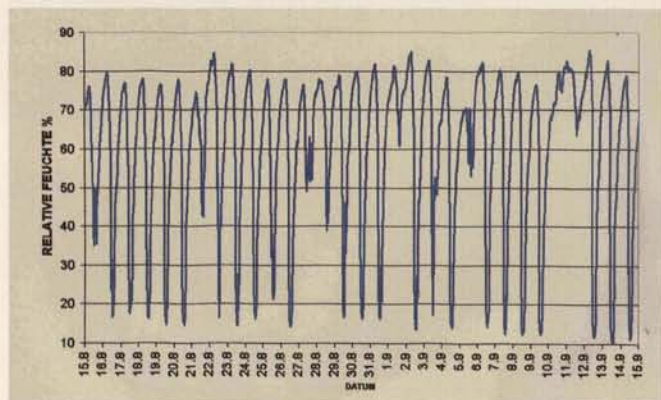


Abb. 14. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sVI (Behaim-Fenster), Messung an der Glasmalereirückseite: Luftfeuchteschwankungen im Sommer (August – September 2003).

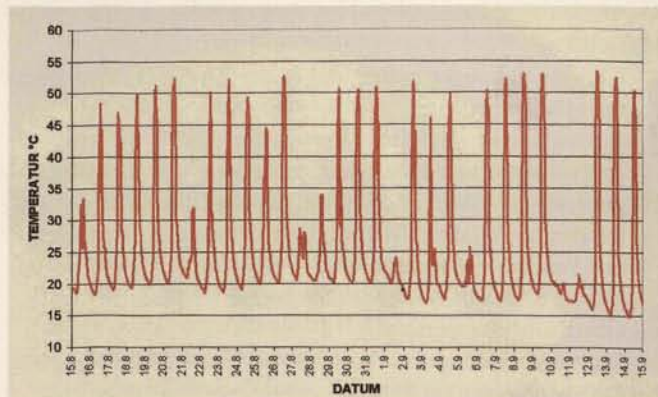


Abb. 15. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sVI (Behaim-Fenster), Messung an der Glasmalereirückseite: Lufttemperaturschwankungen im Sommer (August – September 2003).

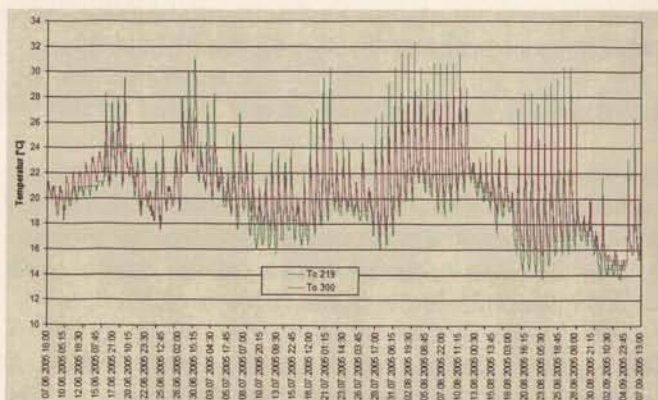


Abb. 16. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sV (To 219) und sVI (To 300): Vergleich der Oberflächentemperaturen auf der Spaltseite der Glasmalerei nach Einbau der neuen Schutzverglasung im Fenster sVI (Juni – September 2005).

Der daraus resultierende dringend notwendige Handlungsbedarf zur Verbesserung der klimatischen Verhältnisse führt zu Überlegungen hinsichtlich des zur Verfügung stehenden Instrumentariums:

4. 3.1. „Optimierung“ des Konstruktionssystems

Ganzjährig wirksam und damit als Grundvoraussetzung anzusehen ist eine den konkreten Gegebenheiten in der jeweiligen Kirche angepasste Optimierung der geometrischen Verhältnisse von Luftspaltbreite und Größe der Belüftungsöffnungen der Schutzverglasung. Mit einer „Optimierung“ der geometrischen Verhältnisse der Außenschutzverglasung lassen sich substanzschädigende klimatische Bedingungen wie hohe relative Luftfeuchtigkeit und Tauwasserausfall zwar vermindern, aber nicht vermeiden – auch hier gibt es Grenzen der Leistungsfähigkeit. Zudem sind den damit verbundenen Eingriffen in die Bausubstanz in Einzelfällen auch formale oder technische Grenzen gesetzt.

Oidtmann hat bereits in seiner Dissertationsschrift die Zusammenhänge von Fensterhöhe, Spalttiefe, Belüftungsöffnungen und Luftdurchsatz umfassend theoretisch und praktisch im Hinblick auf die Problematik der Tauwasserbildung untersucht.¹² Daraus wurden Empfehlungen für die Dimensionierung von Spalttiefe und Belüftungsöffnungen abgeleitet, die bei

¹² OIDTMANN, 1994.

entsprechender Anwendung zu einer wesentlichen Verbesserung des Substanzschutzes führen können.

4. 3.2. Reduzierung der Klimabeanspruchungen im Winter

Negative Auswirkungen auf die Glasmalereien resultieren aus

- Taupunktunterschreitungen und Tauwasserausfall, nicht nur an der Schutzverglasung, sondern auch an der Spaltseite, zum Teil auch an der Raumseite der Glasmalereien.
- Langzeitig hohe relative Feuchte im Luftspalt und damit auch an der Spaltseite der Glasmalereien. In Verbindung mit Frosttemperaturen kann dies Reif- oder Eisbildung am Glas zur Folge haben.
- Häufiger auftretende tageszeitliche Schwankungen der Mikroklimaverhältnisse (Temperatur- und Luftfeuchtebeanspruchungen), nochmals verstärkt bei zeitweiliger Sonneneinstrahlung.

Entscheidender „Wirkfaktor“ ist die Außenlufttemperatur. Ihre Größe bestimmt nachhaltig, was am Fenster hinsichtlich Temperaturen, Oberflächentemperaturen, Luftfeuchte, Tauwasserausfall, Reif- oder Eisbildung passiert.

Eine belastungsmindernde Wirkung wird durch die Anhebung der raumseitigen Temperaturen erzielt. Da die Anhebung der Raumlufttemperaturen in der Kirche in der Regel sowohl von den technischen Voraussetzungen her, wie auch aus der

Sicht der Heizkosten ausscheidet, verbleiben nur zwei weitere Möglichkeiten:

- Abschwächung des Außentemperatureinflusses durch Anwendung einer Schutzverglasung mit deutlich besserem Wärmedurchgangskoeffizienten (U_V -Wert) der Verglasung – also statt Einfachverglasung Verwendung von Isolierglas (Abb. 7b),
- zusätzlicher Wärmeeintrag direkt an der Schutzverglasung – also „Spalttemperierung“ (Abb. 25b).

4. 3.3. Reduzierung der Klimabeanspruchungen im Sommer

Unter sommerlichen Bedingungen stellt sich aufgrund der Außentemperaturen und der solaren Zustrahlung, insbesondere bei direkter Sonneneinstrahlung, folgende Situation ein:

- bei direkter Sonneneinstrahlung treten im Luftspalt und damit auch an der Spalt- und Raumseite der Glasmalerei sehr hohe Temperaturen auf (Abb. 19),
- diese hohen Temperaturen bewirken einen „Absturz“ der relativen Feuchte im Spalt auf minimale Werte (Abb. 14),
- wiederum primär bei direkter Sonneneinstrahlung kommt es zu extremen und teils mehrfach täglich auftretenden Schwankungen von Lufttemperatur und relativer Feuchte.

Als „Gegenmittel“ stehen prinzipiell zur Verfügung:

- die Reduzierung des Strahlungswärmeeintrags – also Sonnenschutzmaßnahme (temporärer außen liegender Sonnenschutz oder Sonnenschutzverglasung; Abb. 16),
- die möglichst rasche Abführung der eingetragenen Wärme – also Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Spalt.

5. Ergebnisse praktischer Untersuchungen zur Verbesserung des Substanzschutzes

Ausgehend von umfangreichen restauratorischen und naturwissenschaftlichen Voruntersuchungen sowie bauphysikalischen Messungen und Berechnungen wurden die durch bautechnische Veränderungen am Schutzverglasungssystem erreichbaren Effekte messtechnisch überprüft. Ausgeführt wurden dazu:

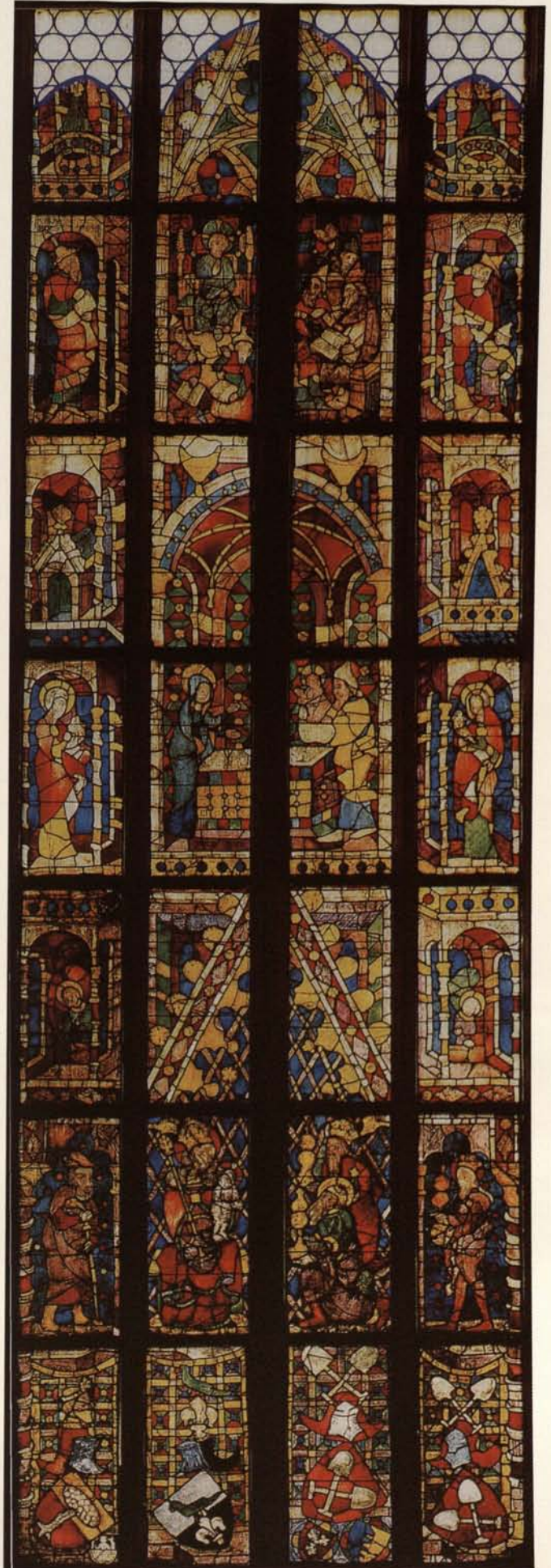
- Die „Optimierung“ der geometrischen Parameter an der Schutzverglasung (Belüftungsöffnungen, Spalttiefe), Nürnberg: St. Sebald.
- Der Einbau einer Isolierverglasung als Schutzverglasung (Nürnberg: Frauenkirche, Abb. 7b).
- Der Einbau einer Spalttemperierung (Nürnberg: Frauenkirche und St. Sebald, Abb. 25b).
- Die Anbringung einer Sonnenschutzfolie und der Einbau von Sonnenschutzverglasung (Nürnberg: St. Sebald, Abb. 16, 25a).

Die bisher vorliegenden Ergebnisse seien im Folgenden vorgestellt.

5. 1. „Optimierung“ der geometrischen Parameter

Die Schutzverglasung in St. Sebald entspricht in ihrer Lösung nicht den Bedingungen, die an eine möglichst gut wirksame

Abb. 17. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sIX (sog. Paumgärtner-Fenster): Anbetung der Könige, Darstellung im Tempel und der 12-jährige Jesus unter den Schriftgelehrten.



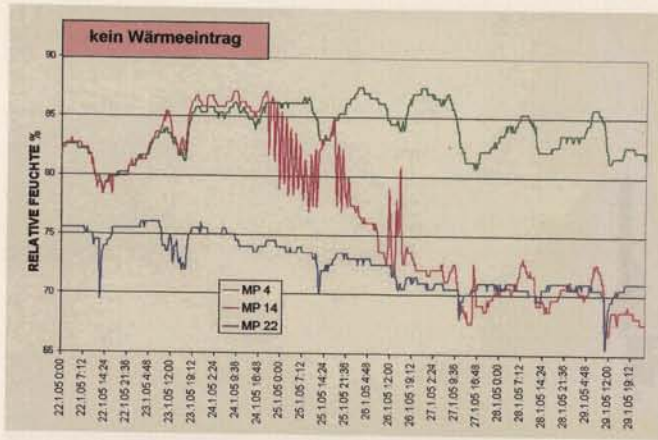


Abb. 18. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Fürer-Fenster): Vergleich der relativen Feuchte im Spalt von Lanzette b (ohne Veränderung der Spaltgeometrie: MP 4) und von Lanzette c (nach „Optimierung“ der Spaltgeometrie: MP 14), jeweils ohne Wärmeeintrag (Januar 2005).

Spaltbelüftung gestellt werden. Die Parameter (freier Querschnitt) sind hier:

- Belüftungsöffnung unten: 1,5cm (Luftumlenkung infolge Kondensatauffangrinne)
- Belüftungsöffnung oben 3,5cm
- Spalttiefe 3 bis 3,5cm.

Zur Verbesserung wurden an einer Lanzette folgende konstruktiven Veränderungen vorgenommen: der Abstand zwischen Schutzverglasung und Glasmalerei wurde vergrößert, die Kondensatrinne wurde entfernt. Dies führte zu einer Vergrößerung der freien Querschnitte:

- Belüftungsöffnung unten: 4,5cm
- Belüftungsöffnung oben 4,5 bis 6,5cm,
- Spalttiefe 4,5cm.

Zur Überprüfung der damit erreichbaren Effekte erfolgte von November 2004 bis April 2005 am Fenster nIV die Messung von Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit (Vertikalprofil in unterschiedlichen Höhenstufen), Oberflächentemperaturen (Horizontalprofil: Schutzverglasung, Glasmalerei Spalt- und Raumseite) sowie Luftgeschwindigkeit sowohl an der Lanzette

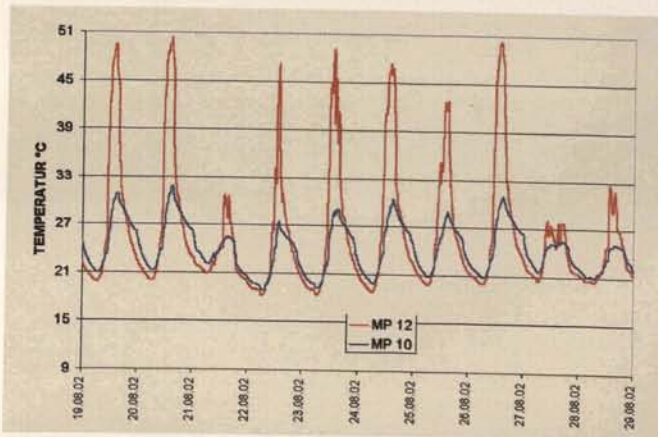


Abb. 19. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sVI (Behaim-Fenster), Vergleich der Amplituden zweier Temperatur-Messpunkte: unten (ohne direkte Sonneneinstrahlung: MP 10) und oben (mit direkter Sonneneinstrahlung: MP 12).

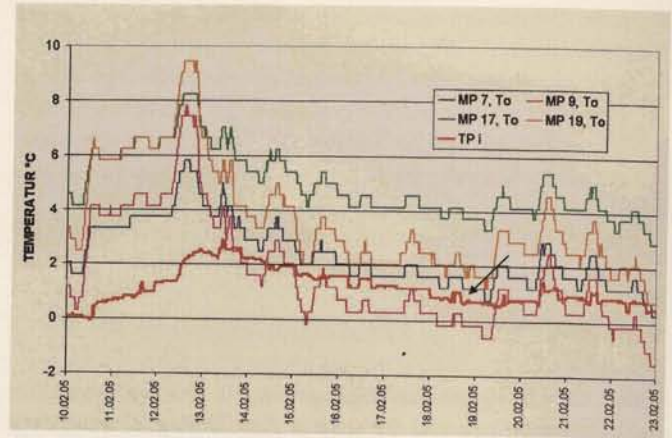


Abb. 20. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Fürer-Fenster): Vergleich der Tauwassergefährdung: Tauwasserausfall an der Schutzverglasung (MP 9) und an der Spaltseite der Glasmalerei (MP 7) auch nach „Optimierung“ der Spaltgeometrie.

mit als auch an der benachbarten Lanzette ohne Veränderung von Spalttiefe und Belüftungsöffnungen. Weiterhin wurden begleitend Außen- und Innenklima gemessen.

Die Ergebnisse lauten:

Auch nach Veränderung der Spaltgeometrie kommt es im Luftspalt bei niedrigen Außentemperaturen (ab etwa -3°C , bei Raumtemperaturen von $+3^{\circ}\text{C}$) zu Werten $<0^{\circ}\text{C}$, eine signifikante Temperaturerhöhung im Luftspalt ist im Gegensatz zum Vorzustand nicht gegeben. Bei etwa vergleichbaren Außen- und Raumklimabedingungen zeigen sich für die Lufttemperaturen im Spalt vor und nach der Verbesserung der geometrischen Bedingungen keine signifikanten Veränderungen. Ebenso kommt es auch nach Veränderung der Spaltgeometrie häufig zu Luftfeuchtwerten $>80\%$, wobei sich die bekannte vertikale Staffelung einstellt: Bis etwa in Höhe Reihe 6 sind die Werte annähernd gleich, in größerer Höhe der Lanzette ist die Luftfeuchte circa 10% niedriger, liegt aber immer noch häufig über 75% (Abb. 18).

Sowohl an der Schutzverglasung als auch an der Außenseite der Glasmalereien treten weiterhin Minustemperaturen auf. Ebenso kommt es auch nach Veränderung der Spaltgeometrie weiterhin zur Taupunktunterschreitung und zu Tauwasserausfall an der Schutzverglasung (Abb. 20).

Bei sehr niedrigen Außenlufttemperaturen tritt Taupunktunterschreitung und Tauwasserausfall an der Glasmalereischeibe auf. Außerdem kommt es durch die Verbesserung der geometrischen Bedingungen zu keinen nachhaltigen Veränderungen der Oberflächentemperatur beziehungsweise der Tauwassergefährdung an der Schutzverglasung und an der Außenseite der Glasmalereischeibe.

Zusammenfassend heißt das:

- A. Eine Verbesserung der Spaltgeometrie (Vergrößerung von Spalttiefe sowie unterer und oberer Belüftungsöffnung) führt unter den klimatischen Verhältnissen der Sebaldskirche Nürnberg nicht zu einem gewünschten Entlastungseffekt hinsichtlich Reduzierung der relativen Luftfeuchtigkeit im Spalt sowie Minimierung von Zeiten mit Tauwasserbildung an der Schutzverglasung und an der Glasmalerei.

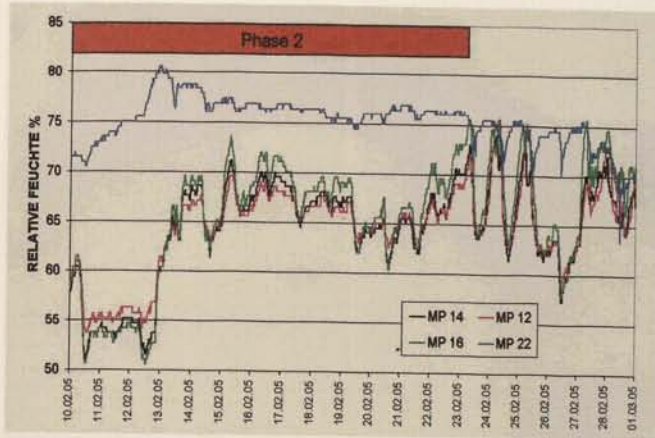


Abb. 21. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Führer-Fenster), Absenkung der relativen Feuchte im Spalt durch Wärmeeintrag (Phase 2): In unterschiedlichen Höhen gemessene Werte (MP 12, 14, 16) in Gegenüberstellung mit den Luftfeuchtwerten in der Kirche (MP 22).

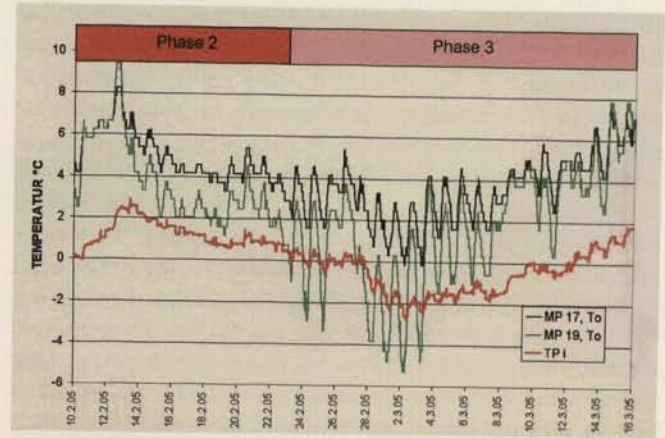


Abb. 22. Nürnberg, St. Sebald, Fenster nIV (sog. Führer-Fenster), messtechnischer Nachweis nach Verlegung eines elektrischen Heizkabels: keine Tauwassergefährdung an der Glasmalerei bei Temperierung des Luftspalts (MP 17).

B. Wie der Ergebnisvergleich der Messungen mit Lanzette b (Originalzustand) zeigt, ergeben sich durch die Verbesserung der Spaltgeometrie bei Lanzette c keinerlei relevante Ergebnisse, die den Aufwand einer Änderung gegenüber den jetzigen Bedingungen rechtfertigen. Als einzige Ausnahme sei die Gestaltung der unteren Belüftungsöffnung benannt: durch die Kondensattrinne ist nicht nur der lichte Querschnitt der Belüftungsöffnung mit 1,5 cm äußerst gering, sondern diese Lösung bedingt auch eine zweifache Luftumlenkung. Damit tritt hier eine wesentliche Behinderung auf, dieser Detailpunkt muss geändert werden.

- Reduzierung der Frostgefährdung: Temperaturen $\leq 0^\circ\text{C}$ an der Spaltseite bei Schutzverglasung als Einfachglas 181 Stunden, bei Isolierglasvariante 42 Stunden
- Temperaturen von $\leq 0^\circ\text{C}$ treten unter den Raumlufttemperaturen der Frauenkirche Nürnberg bei der Schutzverglasung als Einfachglas ab einer Außenlufttemperatur von -3°C , bei Isolierglas ab -8°C auf.

5. 2. Reduzierung der Klimabeanspruchungen im Winter

5. 2.1. Einsatz von Isolierverglasung

An der **Frauenkirche in Nürnberg** wurde im Dezember 2002 an einem Fenster (nII) die vorhandene Einfachverglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten $U_V = 5,8 \text{ W/m}^2\text{-K}$ durch eine Isolierverglasung mit $U_V = 3,0 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ersetzt. Die Abmessungen von Spalttiefe (3–4cm) und Größe der Belüftungsöffnungen (3–4cm) wurden unverändert belassen. Die begleitende Messung erreichbarer Effekte erfolgte vergleichend für die veränderte Situation am Fenster nII und am Originalzustand (benachbartes Fenster I).

Durch den Einbau der Isolierverglasung wurden im Vergleich zum Originalzustand folgende Effekte erzielt:

- Erhöhung der Lufttemperatur im Spalt um 2°C , Reduzierung der Schwankungen der Lufttemperatur um 10K,
- Verringerung der relativen Feuchte um 10%, Reduzierung der Tagesschwankungen der relativen Feuchte ebenfalls um circa 10%
- Erhöhung der Oberflächentemperaturen an der Schutzverglasung um bis zu 4 K und an der Spaltseite Glasmalerei um bis zu 2 K,
- Reduzierung von Zeiten mit Tauwasserbildung: Im Originalzustand (Einfachverglasung) 244 Stunden Tauwasseranfall an der Schutzverglasung und 13 Stunden auf der Spaltseite der Glasmalerei, bei Isolierverglasung 37 Stunden Tauwasserausfall an der Schutzverglasung, auf der Spaltseite der Glasmalerei kein Tauwasser.

5. 2.2. Temperierung des Luftspalts

An der Frauenkirche Nürnberg wurde in Verbindung mit der oben beschriebenen Erprobung der Wirksamkeit einer Isolierverglasung in einer Lanzette die Prüfung der mit Temperierung des Luftspalts erreichbaren Effekte vorgenommen. Die dort erzielten positiven Ergebnisse führten zu der Entscheidung, zunächst einen weiteren „Test“ in Form einer Einfaclösung an einer Lanzette des Fensters nIV in St. Sebald durchzuführen. Dazu wurde in den beiden unteren Reihen ein elektrisches Heizkabel in einer Gesamtlänge von 6m mit einer Wärmeabgabe von 40 W/m , gesamt 240W, eingebaut und der Effekt im Winter 2003/2004 gemessen. Messtechnisch nachweisbar war, dass bereits durch diesen moderaten Wärmeeintrag eine Tempe-

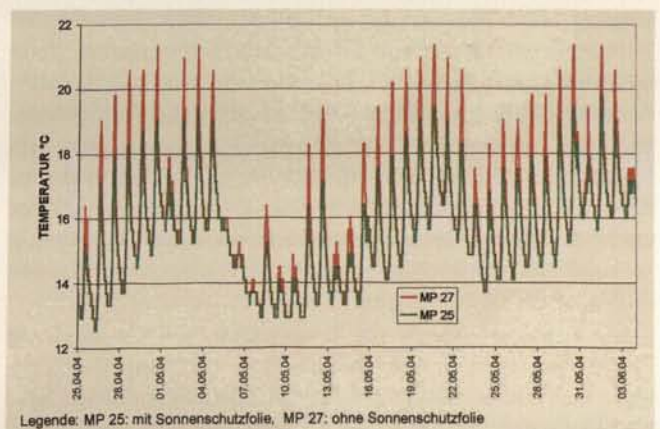


Abb. 23. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sVI (Behaim-Fenster), Vergleich der Oberflächentemperaturen an der Glasmalerei: Werte auf der Spaltseite ohne (MP 27) und mit Sonnenschutzfolie (MP 25; April – Juni 2004).

raturerhöhung/Luftfeuchteabsenkung im Spalt erreicht wurde, durch die eine Tauwasserbildung an der Glasmalerei ausgeschlossen und die Tauwassergefährdung an der Schutzverglasung deutlich reduziert wurde. Dieses erneute positive Resultat führte zu der Entscheidung, im November 2004 an einer Lanzette des Fensters nIV eine Spalttemperierung als Dauerlösung einzubauen, deren Wirksamkeit wie auch die Verbrauchskosten im Winterhalbjahr 2004/2005 gemessen wurden. Als technische Lösung wurde ein selbstregulierendes Heizband (Produkt: Defromat, Typ KD 2X, Abmessungen 6x14mm, schwarz) mit einer umgebungstemperaturabhängigen Nennheizleistung von circa 25W/m eingebaut. Das Kabel wurde mäanderförmig über die gesamte Höhe der Lanzette verlegt. Die Gesamtlänge beträgt 16m, das entspricht einer Gesamtheizleistung von circa 400W bzw. 0,4kWh. Zur Regelung wurde ein elektronischer Temperaturregler (Produkt: Defromat, Typ THSE 1 R, Schaltleistung 1,5kW) eingebaut. Die sehr ungünstigen Bedingungen hinsichtlich Größe der Belüftungsöffnungen (unten 1,5cm, oben maximal 3,5cm) und Spalttiefe (maximal 3,5cm) wurden nicht verändert.

Es konnten folgende **Ergebnisse** nachgewiesen werden:

Bei Wärmeeintrag in den Spalt stellen sich über die gesamte Höhe der Lanzette nahezu gleiche Lufttemperaturen ein. Die Lufttemperaturen in der Kirche lagen bei teilweise nur +2°C. Erst ab Außentemperaturen von <-5°C kam es auch im Luftspalt zu Temperaturen von 0°C und weniger.

Die relative Feuchte der Luft in der Kirche lag während der Messzeit überwiegend zwischen 70% bis 80%, im Spalt betrug sie mit wenigen Ausnahmen <70%. Wiederum gibt es in Lanzettenhöhe nur geringe Abweichungen der sich einstellenden relativen Feuchte. Insofern entsteht hier ein deutlicher Entlastungseffekt (Abb. 21).

An der Schutzverglasung tritt Tauwasserbildung während der Thermostateinstellung auf maximale Leistung (Wärmeeintrag über die gesamte Spalthöhe von circa 16m 400W) nicht auf. Allerdings lagen in dieser Zeitspanne die niedrigsten Außentemperaturen nur bei -2°C. Das Ergebnis lautet auch hier: durch den Wärmeeintrag in den Luftspalt wird Tauwasserbildung auf der Rückseite der Glasmalerei vermieden, an der Schutzverglasung tritt Tauwasserbildung erst bei Außenlufttemperaturen von <-2°C auf (Abb. 22).

Durch die Spalttemperierung kann ein deutlicher Entlastungseffekt erzielt werden. Dabei ist allerdings eine bestimmte Mindesttemperatur im Spalt notwendig. Aus Kostengründen empfiehlt sich in St. Sebald eine Thermostateinstellung auf einen Wert von +10°C.

Die positiven Effekte einer Spalttemperierung sind so lange wirksam, wie dies die Umgebungsbedingungen erlauben. Bei Spalttemperaturen von beispielsweise >10°C ist auch aus Betriebskostengründen eine Grenze gegeben. In Anbetracht der auch bei höheren Lufttemperaturen in der Kirche gleichzeitig vorhandenen Luftfeuchtwerte von >70% wird diese Situation etwa ab Ende März eintreten.

Die Betriebskosten für die Temperierung sind zwangsläufig von der aus Gründen des Substanzschutzes erforderlichen Zeitdauer des Wärmeeintrags abhängig. Während der durchgeführten Untersuchungen betrug der Stromverbrauch für die Temperierung einer Lanzette im Zeitraum 11.11.04 bis 13.04.05 insgesamt etwa 420kWh.

¹³ Gewählt wurde ein Produkt Climaplus 4S von Saint Gobain.



Abb. 24. Nürnberg, St. Sebald, Blick in den Hallenchor.

5. 3. Reduzierung der Klimabeanspruchungen im Sommer

Die möglichst rasche Abführung des Strahlungswärmeeintrags in den Belüftungsspalt und die damit verbundene Erhöhung von Luft- und Oberflächentemperaturen erfordert den Einsatz technischer Hilfsmittel zur Erhöhung der Luftgeschwindigkeit bzw. des Luftvolumenstroms. Eine derartige Lösung ist aus vielerlei Gründen undiskutabel, deshalb soll nicht weiter darauf eingegangen werden. Nach verschiedenen Recherchen stellte sich ebenfalls rasch heraus, dass ein temporärer außen liegender Sonnenschutz zur Reduzierung des Strahlungswärmeeintrags nicht nur aus denkmalpflegerischen, sondern auch aus technischen Gründen unter den an der Sebalduskirche Nürnberg gegebenen Randbedingungen ausscheidet.

Es verblieben damit nur die Möglichkeiten, die positiven – wie auch die negativen – Effekte einer Sonnenschutzfolie sowie einer Sonnenschutzverglasung zu untersuchen.

5. 3.1. Sonnenschutzfolie

Obwohl bereits anfängliche Bedenken bezüglich der formalen Akzeptanz und der thermischen Entlastungswirkung bestanden, wurde entschieden, diese Lösung praktisch zu prüfen, um eindeutige Fakten als Beurteilungsgrundlage zu erhalten. Eingesetzt wurde an einer Lanzette des Fensters s V eine außenseitig angebrachte Sonnenschutzfolie, für die herstellerseitig als technische Parameter benannt wurden: Reflexion 20%, Absorption 54%, Transmission 26% und Reduzierung der Sonnenenergie bis zu 66%. Vergleichend erfolgten Messungen an einer Lanzette mit und ohne Sonnenschutzfolie (Abb. 25a).

Die Messergebnisse belegten für den Frühjahrszeitraum April/Mai bei noch moderaten Außenklimabedingungen, dass es beim Einsatz der Sonnenschutzfolie an der Spaltseite der Glasmalereischeiben zu einer Reduzierung der Oberflächentemperatur um bis zu 20% kam, gleichzeitig wurden die Tageschwankungen der Oberflächentemperaturen um etwa 10 K reduziert. Die relative Feuchte der Spaltluft schwankte im Tagesgang weiterhin noch in einer Größenordnung teils >60%, gemessen wurden Werte zwischen 12% und 80%.



Abb. 25a-b. Nürnberg, St. Sebald, Fenster sV und nIV: Reflexionswirkung einer außen angebrachten Sonnenschutzfolie (a) und Verlegung eines elektrischen Heizkabels zur Spalttemperierung (b).

Noch stärker als durch die angegebenen technischen Daten der Folie erwartet kam es zu inakzeptablen Veränderungen des inneren (Abdunkelung und schlechtere Erlebarkeit der Glasmalereien) wie auch des äußeren Erscheinungsbildes (extremer Spiegelungseffekt). Aus diesem Ergebnis heraus war klar, dass die Verwendung von Sonnenschutzfolien als Mittel zur Reduzierung sommerlicher Belastungen an den Glasmalereifenstern eindeutig abgelehnt werden muss (Abb. 23).

5. 3.2. Sonnenschutzverglasung

In Anbetracht der aus Gründen des Substanzerhalts zwingend notwendigen thermischen Entlastung im Sommer gingen die weiteren Überlegungen in Richtung des Einbaus von Sonnenschutzglas als Schutzverglasung. Es musste dabei eine technische Lösung gefunden werden, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften günstige Voraussetzungen bezüglich Energie-durchlassgrad und weiterer Eigenschaften hat.¹³

Zunächst erfolgte unter Zuhilfenahme früherer Messergebnisse eine thermische Simulationsrechnung der durch den Einsatz des Sonnenschutzglases erreichbaren Effekte. Die messtechnische Überprüfung wird im Sommer 2005 durchgeführt. Dazu wurde an einem Fenster (sVI) komplett die Sonnenschutzverglasung eingebaut. Ergänzend wurde nur die Kondensatauffangrinne entfernt. Die begleitende Messung wird wiederum sowohl an einer Lanzette mit Sonnenschutzverglasung als auch an der Originalsituation mit Einfachverglasung (Fenster sV) durchgeführt. Über die erreichten Ergebnisse kann zum Jahresende 2005 berichtet werden (vgl. Abb. 16).

6. Zusammenfassung

Die Wirksamkeit einer Außenschutzverglasung als Mittel zum Substanzschutz wird neben den Außenklimaverhältnissen, den Standortbedingungen und den baulichen Gegebenheiten einer Kirche von den klimatischen Verhältnissen in der Kirche mitbestimmt. So liegen beispielsweise die winterlichen Temperaturen in der Sebalduskirche Nürnberg auf einem durchweg sehr niedrigen Niveau. Dies prägt die Situation maßgeblich und schränkt

die Übertragbarkeit der Ergebnisse der winterlichen Situation auf Kirchenräume mit deutlich höheren Lufttemperaturen nachhaltig ein.

Vorangestellt sei, dass die Außenschutzverglasung selbstverständlich einen wesentlichen Beitrag zum Substanzschutz leistet, allerdings sind ihrer „Leistungsfähigkeit“ eben zwangsläufig Grenzen gesetzt.

So ist es mit einer Außenschutzverglasung als Einfachglas bzw. im konkreten Fall aus 9mm Verbundglas (4mm Optiwhite innen und 4,5mm Goetheglas außen, mit Gießharz vergossen) unter den klimatischen Bedingungen von St. Sebald weder möglich, eine Tauwasser- oder Frostbeanspruchung der Originalgläser **grundsätzlich** zu vermeiden, noch solche Grenzwerte von Lufttemperatur und relativer Feuchte einzuhalten, die aus der Sicht des Substanzschutzes als Zielgrößen formuliert werden. Es sei nochmals betont, dass dies jedoch nicht an der Art der ausgeführten Schutzverglasung, sondern an den „natürlichen Leistungsgrenzen“ selbst liegt. Ebenso kommt es unter sommerlichen Bedingungen zu Spalt- und damit auch Oberflächentemperaturen an der Glasmalerei von bis zu >50°C, wie zu selbst kurzzeitigen (Tagesgang!) Luftfeuchteschwankungen zwischen 10% und 80%.

Die in der Praxis eingeführten „Dimensionierungsgrundsätze“ für eine Schutzverglasung (Spalttiefe, Größe der Belüftungsöffnungen) haben sich sicherlich bewährt, nur darf der Einfluss einer Variation geometrischer Parameter auf ihre Wirksamkeit nicht überschätzt werden. Vielmehr spielen hier eben auch die speziellen Verhältnisse der Kirche eine wesentliche Rolle. Letztlich sind einer Veränderung der Geometrie ohnehin oftmals sehr enge bauliche und formale Grenzen gesetzt. Die Möglichkeiten einer „Optimierung“ der Spaltgeometrie sind nicht in jedem konkreten Fall gegeben.

Allerdings darf nicht übersehen werden, dass auch die derzeit überschaubaren technischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Wirksamkeit einer Schutzverglasung sehr rasch an Grenzen der technischen Machbarkeit wie der formalen und denkmalpflegerischen Akzeptanz stoßen.

Möglichkeiten und Grenzen einer Klimastabilisierung

Grundsätzlich gilt:

Mit einer „Optimierung“ der geometrischen Verhältnisse der Außenschutzverglasung lassen sich substanzschädigende klimatische Bedingungen, Frosteinwirkung und Tauwasserausfall zwar vermindern, aber nicht vermeiden – auch Schutzverglasungen haben ihre Grenzen der Leistungsfähigkeit.

Mit dem jetzigen „Instrumentarium“ ist zwar eine Annäherung an einen aus restauratorischer Sicht „optimalen Klimakorridor“ und weitere Zielgrößen möglich:

- Lufttemperatur: 12°C bis 25°C (unter Beachtung der Differenz außen – innen),
 - relative Luftfeuchtigkeit: 45% bis 60% (unter Beachtung von Glasart und Schadstoffkonzentration),
 - Temperatur- und Luftfeuchtwechsel: Größenordnung sowie Häufigkeit von Schwankungen möglichst minimal,
 - keine Tauwasserbildung an der Glasmalerei,
- keinesfalls aber kann dessen vollumfängliche Einhaltung erreicht werden.

Im **Winterzustand** können durch Anwendung von Isolierglas als Außenschutzverglasung, alternativ durch moderate Temperierung, deutliche Entlastungseffekte erzielt werden. Dieser Nachweis wurde eindeutig erbracht.

Ungleich problematischer ist die Möglichkeit, im **Sommerzustand** Überwärmungen und damit verbundene Belastungen zu vermindern: Der Versuch mittels Sonnenschutzfolien hat sich als unbrauchbar erwiesen, eine Sonnenschutzverglasung in der zumutbaren technischen und formalen Lösung wird zwar eine (durchaus auch deutliche) thermische Entlastung, jedoch keinen ausreichenden Effekt im Sinne der Einhaltung eines „optimalen Klimakorridors“ erbringen. Es muss also jeweils im Einzelfall eine bestmögliche „Kompromisslösung“ gefunden werden.

Als ein möglicher Lösungsweg werden partielle Verbesserungen an besonders substanzgefährdeten bzw. schützenswerten Fenstern erachtet.

Abschließend sei noch ein Hinweis auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse gestattet: Die Komplexität der Randbedingungen und Einflüsse erlaubt keine unmittelbare Übertragung auf andere Objekte, zu unterschiedlich sind beispielsweise folgenden Faktoren:

Am Originalglas:

- Glaszusammensetzung,
- Bemalung/Maltechnik,
- Oberflächenbeschaffenheit,
- Vorschädigung/aktueller Zustand,
- Restaurierungsgeschichte, Konservierungsmittel (Festigung, Beschichtung)....

Am Bauwerk:

- Standort- und Klimafaktoren,
- Baukörpergestaltung,
- Nutzungsbedingungen....

Aus diesem Grund muss für jedes Einzelobjekt mit Hilfe eines geeigneten „Voruntersuchungsinstrumentariums“ in gemeinschaftlicher Zusammenarbeit von Restauratoren, Naturwissenschaftlern, Kunsthistorikern, Architekten die entsprechende Entscheidungsgrundlage erarbeitet werden.

Summary

Investigations of Climatic Dangers to the Painted Glass in St. Sebald's Church in Nuremberg.

Possibilities and Limitations of the Effectiveness of Exterior Protective Glazing

With a surface area of about 250 m² of superb paintings dating from four centuries, the stained glass in St. Sebald in Nuremberg presents a special challenge to preservationists, climate specialists and restorers.

Because they date from various periods, are made of different materials and have been subjected over the years to a turbulent restoration history, these glass windows make very different demands on the climatic and environmental conditions. The rather "hard" glass dating from the Dürer period is much more resistant to climatic fluctuations than the badly damaged and corrosion-prone glass from the 14th century. The fronts of these windows today are a virtual network of corrosion products, gel layers, glass painting layers, cold overpaintings and consolidation agents. Such a bundle of organic and inorganic components

reacts particularly sensitively to frequent changes in moisture and drying and to high temperatures or frost. The various consolidation and binding agents begin to "work" and there is crystallizing or further corrosion. This leads within a short time to losses of paint and original surfaces. Generally only the highly differentiated paint layers are affected on the glass paintings dating from the Dürer period and later. In these cases moisture leads to corrosion of the paint layer and microbiological growth. Run-off condensation and the long-time effects of moisture foster soiling and lead over the medium term to the accumulation of hard, brittle crusts on the sensitive painting.

Thus the climatic conditions for the windows from the 14th century should be kept as stable as possible, with few fluctuations and rather low temperatures. The windows from the late 15th century or later are endangered more by moisture and biogenic attack.

Within the framework of a research project under the German Federal Foundation for the Environment (DBU), regular monitoring of the glass paintings and detailed climatic measurements have shown that these requirements are not being met – despite the protective glazing which was installed in 1956 and brought up to the latest standards in 1985.

Exterior protective glazing has been employed for many decades as a means to protect medieval glass paintings from damages caused by environmental factors. The protective glazings that have been used for this purpose differ in their construction and in the design of their ventilation systems. Diverse studies of the effects of protective glazing systems have been carried out in the past and recommendations have been made to optimize the geometric parameters. However, a recent comparative study of the development of damages on medieval glass paintings in various churches demonstrates that in general practice no significant correlation exists between the type of protective glazing system and the degree of damage on glass paintings. It could be determined that the physical state of the glass paintings is substantially influenced not only by exterior climatic factors but also by surrounding construction-related conditions and by indoor climatic conditions. Knowledge of the climatic conditions and their effects (temperature and humidity extremes, frequency and extent of climatic fluctuations, danger from condensation moisture and frost) is critical for the design and "optimization" of a protective glazing system. Parallel to this, it is necessary to analyze the correlation between climatic factors and damage to glass paintings; the goal should be a definition of the limits within which it is possible to ensure at least a delay in the deterioration process. Such an analysis should also serve as the foundation for decisions concerning the necessity of efforts to further improve protection of the historic fabric.

Extensive scientific and restoration studies focusing on improved protection of medieval glass paintings have been carried out over the past three years in three churches in Nuremberg (St. Lawrence, the Church of Our Lady, and St. Sebald) and in the Church of Our Lady in Munich. Following a restoration-oriented survey and documentation of the as-is condition and the damages, long-term measurements relating to the physical state of the windows were carried out and chemical and microbiological analyses were conducted.

Based on the results of the measurements it was possible to make a quantitative judgement of the glass paintings in terms of their construction physics and to assess the dangers resulting from their condition. In all the churches in the study it became apparent that despite existing protective glazing systems it is

not possible to **fundamentally** avoid stress on the original glass from condensation or frost, nor is it possible to adhere to the limits set for the air temperature and the relative humidity in the ventilation slit (based on optimal values established from the standpoint of materials protection). Damage-producing climatic conditions, the effects of frost and the precipitation of condense water can be diminished but not avoided by an "optimization" of the geometric conditions: protective glazing systems have their limitations in performance. Based on this realization, the effectiveness of various solutions to improve the climatic conditions on the windows for winter and summer circumstances was tested. Comparative tests were made of the effects achievable by altering the geometry of the slit and changing the ventilation openings; through the use of insulating glass; by controlling the temperature of the air slit; and by measures to protect against the sun. In the meantime the first results which promise to be successful have been achieved in St. Sebald.



Abb. 26. Nürnberg, St. Sebald, Ostchor von Südosten.

Literaturverzeichnis

- DBU-Projekt „Beurteilung zurückliegender Erhaltungsmaßnahmen an den Glasmalereifenstern des 14.–16. Jahrhunderts in der Kirche St. Sebald in Nürnberg (AZ.: 18251–45).
- Stefan FITZ – Gottfried FRENZEL, Die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf ausgewählte Kunstwerke mittelalterlicher Glasmalerei. Forschungsbericht 10608002. Bundesministerium des Inneren, Berlin 1984.
- Gottfried FRENZEL, Die Farbverglasung aus St. Lorenz, Augsburg 1968.
- Gottfried FRENZEL, Historischer Abriß der Glasmalereirestaurierung in Nürnberg, in: Glaskonservierung. Historische Glasfenster und ihre Erhaltung (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, Bd. 32), München 1984, S. 94–101.
- Eva FRODL-KRAFT, Die Glasmalerei – Entwicklung, Technik, Eigenart, Wien – München 1970.
- D. R. FUCHS, Glassensor-Untersuchungen zur Laserbehandlung historischer Glasmalereien. BMFT-Verbundprojekt BAU 5026/C4.1994.
- Friedrich W. HOFFMANN, Die Sebalduskirche in Nürnberg, Wien 1912.
- Hermann KÜHN, Erhaltung und Pflege von Kunstwerken und Antiquitäten, München 1981.
- Hannelore MARSCHNER, Untersuchungen zur Verwitterung und Konservierung mittelalterlicher Glasmalerei, in: Glaskonservierung. Historische Glasfenster und ihre Erhaltung (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, Bd. 32), München 1984, S. 44–55.
- Moritz Maximilian MAYER, Die Kirche des heiligen Sebaldus (Nürnberg's Merkwürdigkeiten und Kunstschätze, Heft 1), Nürnberg 1831.
- Wolfgang MÜLLER – Manfred TORGE – Detlef KRUSCHKE – Karin ADAM, Sicherung, Konservierung und Restaurierung historischer Glasmalereien. Forschungsbericht 217 der BAM, Berlin 1997.
- Wolfgang MÜLLER – Manfred TORGE – Karin ADAM – Hannelore RÖMICH – Rudolf WEISSMANN – Rainer DREWELLO, Naturwissenschaft im Dienst der Restaurierung, in: Restaurierung und Konservierung historischer Glasmalereien, Mainz 2000.
- Wolfgang MÜLLER – Manfred TORGE, Korrosion und Konservierung historischer Glasmalereien. Abschlußbericht, Förderkennzeichen: 524-30L101 B/4 (BMFT-Projekt), Zentralinstitut für Anorganische Chemie, Berlin 1991.
- Wolfgang MÜLLER, Verbräunte mittelalterliche Glasmalereien, Leipzig 2002.
- Roy NEWTON – Sandra DAVISON, Conservation of Glass, London 1989.
- Roy NEWTON, Glass Deterioration and Preservation – some Open Questions, in: Glaskonservierung. Historische Glasfenster und ihre Erhaltung (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, Bd. 32), München 1984, S. 42f.
- Roy NEWTON, The durability of Glass – a review, in: Glass technology 26, 1985, S. 21–38.
- Stefan OIDTMANN, Die Schutzverglasung, eine wirksame Schutzmaßnahme gegen die Korrosion an wertvollen Glasmalereien. Diss. Eindhoven 1994, Aachen 1994.
- Hartmut SCHOLZ, Die mittelalterlichen Glasmalereien in Mittelfranken und Nürnberg extra muros (Corpus Vitrearum Medii Aevi, Deutschland Bd. X, 1), Berlin 2002.
- Hartmut SCHOLZ, Entwurf und Ausführung. Werkstattpraxis in der Nürnberger Glasmalerei der Dürerzeit (CVMA Deutschland, Studien I), Berlin 1991.
- Hartmut SCHOLZ, Nürnberg, St. Sebald, in: Glasmalerei im Kontext, Bildprogramme und Raumfunktion. XXII. Internationales Colloquium des Corpus Vitrearum in Nürnberg und Regensburg 2004, Freiburg i.Br. 2004, S. 100–111.
- Manfred SCHREINER, Über die Verwitterung der grünen Scheiben in mittelalterlichen Glasgemälden, in: Glaskonservierung. Historische Glasfenster und ihre Erhaltung (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, Bd. 32), München 1984, S. 60–65.
- Jörg SEELE, DBU-Modellvorhaben schadstoffverhindernder Schutzmaßnahmen an den spätmittelalterlichen und frühneuzeitlichen national wertvollen Glasfenstern der Sebalduskirche in Nürnberg, Projektteil: Raumklimatisch/bauphysikalische Bedingungen und daraus resultierende Gefährdungen für den Glasmalereibestand, Untersuchungsbericht des IGS München, München 2003 (Ms. masch.).
- Jörg SEELE, Untersuchung der Wirksamkeit bautechnischer Maßnahmen zur Reduzierung substanzschädigender klimatischer Einflüsse an den Glasmalereien, Untersuchungsbericht des IGS München, München 2004 (Ms. masch.).
- Sebastian STROBL, Glastechnik des Mittelalters, Stuttgart 1990.
- Peter van TREECK, Zur historischen Entwicklung, zum heutigen Bestand und Zustand der Glasmalerei des 19. Jahrhunderts und ihren Restaurierungsproblemen, in: Glaskonservierung. Historische Glasfenster und ihre Erhaltung (Arbeitshefte des Bayerischen Landesamts für Denkmalpflege, Bd. 32), München 1984, S. 23–33.
- Rolf WIHR, Restaurieren von Keramik und Glas, München 1977.

Abbildungsnachweis

Abb. 1, 2a-b, 4, 11a-b, 17: Dr. Peter van Treeck, München; Abb. 3, 5-6, 7a, 8-10, 12, 24, 25a, 26: Martha Hör, Nürnberg; Abb. 7b, 13-16, 18-23, 25b: IGS München – Schliersee (Dr. Jörg Seele).

Klimastabilisierung und bauphysikalische Konzepte. Wege zur Nachhaltigkeit bei der Pflege des Weltkulturerbes

Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS
in Zusammenarbeit mit dem Landesdenkmalamt Baden-Württemberg

Insel Reichenau, 25.–27. November 2004

Tagungsraum im Haus Insel Reichenau, Familienferienstätte, Markusstraße 15

DONNERSTAG, 25. NOVEMBER

- 13.30 Uhr Begrüßung und Einführung:
Prof. Dr. Michael Petzet, Präsident des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS
Prof. Dr. Dieter Planck, Präsident des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg
Dr. Rudolf Hermann, Referatsleiter im Innenministerium Baden-Württemberg
- 14.00 – 18.15 Uhr Moderation *Prof. Dr. Michael Petzet*
- 14.00 Uhr *Prof. Dr. Harald Garrecht*
Raumklimatische Untersuchungen und bauphysikalische Konzepte.
Forschungsergebnisse zur Klimaproblematik im Kloster Maulbronn und im Dom zu Speyer
- 15.00 Uhr *Dr. Stefan Simon – Shin Maekawa*
Von den Mogao Grotten (China) zum Markgräflichen Opernhaus in Bayreuth.
Fallbeispiele zum Einfluß von Besuchern auf die Feuchtebalance historischer Räume
- 16.15 Uhr *Dr. Thomas Warscheid*
Mikrobiologie in der Archäologie.
Fallbeispiele aus China, Dänemark und der Türkei
- 16.55 Uhr *Helmut F. Reichwald*
Klimabedingte Schäden an Raum und Ausstattung. Fallbeispiele aus Baden-Württemberg
- 17.35 Uhr *Dr. Dagmar Zimdars*
Reichenau als Weltkulturerbe. Didaktische Konzepte zur Besucherlenkung bei klimatisch belasteten Objekten.
- 19.30 Uhr Reichenau, Münster: öffentlicher Abendvortrag
Dr. Matthias Exner
Die ottonischen Wandmalereien der Reichenau. Aspekte ihrer chronologischen Stellung
Abendempfang der Gemeinde Reichenau im Haus der Begegnung in Mittelzell

FREITAG, 26. NOVEMBER

- 8.30 – 12.40 Uhr Moderation *Dr. Dörthe Jakobs*
- 8.30 Uhr *Ivan Srša*
Monitoring of wall paintings in maritime area and conservation measures from Croatia
- 9.10 Uhr *Dott. Barbara Mazzei*
La conservazione delle pitture delle catacombe romane. Antichi espedienti e recenti esperienze
- 9.50 Uhr *Prof. Dr. Giorgio Bonsanti*
Ein Jahrhundertfund und seine bauphysikalischen Probleme.
Zu den neu entdeckten Wandmalereien der Sieneser Domkrypta
- 10.50 Uhr *Dott. Giuseppe Basile – Dott. Maurizio Marabelli*
Impianto d'aria climatizzata e accesso controllato: Interventi per la tutela della Capella Scrovegni a Padova
Premesse metodologiche e risultati (Basile)
Indagini e monitoraggi ambientali (Marabelli)

- 11.50 Uhr *Dr. Friedrich Dahm*
Zum Raumklima in Schloss Schönbrunn
- 14.00 – 17.15 Uhr Moderation *Dr. Gabriele Grassegger-Schön*
- 14.00 Uhr *Dr. Ulrike Henes-Klaiber*
Ursachen und Behandlungsmethoden von Feuchteschäden an historischen Bauwerken
- 14.40 Uhr *Dr. Christine Bläuer Böhm*
Zur Auswirkung von Hydrophobierungen auf die Erhaltung und Pflegefähigkeit von Fassaden. Beispiele aus der Altstadt von Bern
- 15.45 Uhr *Claus Giersch*
Nutzung und Substanzerhalt.
Fallbeispiele zur Konzeptentwicklung in der praktischen Baudenkmalpflege
- 16.25 Uhr *Jürgen Pursche*
Materialien und Konservierungsstoffe unter bauphysikalischen Gesichtspunkten
- 18.00 Uhr Mitgliederversammlung DNK von ICOMOS (ICOMOS-Mitglieder)

SAMSTAG, 27. NOVEMBER

- 8.30 – 12.30 Uhr Moderation *Dr. Matthias Exner*
- 8.30 Uhr *Dr. Thomas Danzl – Prof. Heinz Leitner*
Einhausung und Klimaregulierung als Mittel präventiver Konservierung von kunststoffbelasteter Wandmalerei anhand von Fallbeispielen in Sachsen-Anhalt
- 9.10 Uhr *Dr. Claus Arendt*
Unter welchen Voraussetzungen ist die Beheizung von Kirchen zu bejahen – und wie soll sie durchgeführt werden?
- 9.50 Uhr *Otto Wölbert*
Winterschutzverkleidungen für witterungsgefährdete Objekte.
- 10.50 Uhr Anforderungsprofile an den präventiven Schutz
Peter Berkenkopf
Die Auswirkungen von Schutzverglasungen auf Konservierungskonzepte
- 11.20 Uhr *Martha Hör – Dr. Jörg Seele*
Bauphysikalische Untersuchungen zur Gefährdung des Glasmalereibestandes in der Nürnberger Sebalduskirche. Möglichkeiten und Grenzen der Wirksamkeit von Außenschutzverglasungen
- ab 14.00 Uhr Führungen Welterbestätte Reichenau
Welterbestätte Reichenau
Dr. Petra Wichmann, Dr. Erik Roth
St. Georg Oberzell
Dr. Dörthe Jakobs, Helmut F. Reichwald
Kloster Mittelzell
Dr. Dagmar Zimdars, Dr. Peter Schmidt-Thomé

Autorenverzeichnis

Dr. Claus Arendt
Valleystraße 36
D-81371 München

Dott. Giuseppe Basile
Istituto Centrale
per il Restauro
Piazza San Francesco di Paola, 9
I-00184 Roma

Peter Berkenkopf
Dombauverwaltung Köln
Roncalliplatz 2
D-50667 Köln

Dr. Christine Bläuer Böhm
Expert-Center für Denkmalpflege
ETH Hönggerberg,
HIL D 33/34
CH-8093 Zürich

Prof. Giorgio Bonsanti
Università di Firenze
Via Santa Maria, 17
I-50139 Firenze

Prof. Alfredo Castellano
Università di Lecce
Dip. Scienza dei materiali
Via Arnesano
I-73100 Lecce

Prof. Roberto Cesareo
Università di Sassari
Via Vienna, 2
I-07100 Sassari

Doz. Dr. Friedrich Dahm
Bundesdenkmalamt
Hofburg – Säulenstiege
A-1100 Wien

Dr. Thomas Danzl
Landesamt für Denkmalpflege
und Archäologie Sachsen-Anhalt
Richard-Wagner-Straße 9–10
D-06114 Halle

Dott. Vasco Fassina
Soprintendenza ai Beni Storici,
Artistici e Etnoantropologici del Veneto
per le province di Venezia, Padova,
Belluno, Treviso
S. Croce, 770
I-30125 Venezia

Prof. Dr. Harald Garrecht
Fachhochschule Karlsruhe – Technik und
Wirtschaft
Postfach 2440
D-76012 Karlsruhe
Moltkestraße 30
D-76133 Karlsruhe

Claus Giersch
Conn & Giersch
Königswarter Straße 54a
D-90762 Fürth

Dr. Ulrike Henes-Klaiber
Landesamt für Denkmalpflege
im Regierungspräsidium Stuttgart
Berliner Straße 12
D-73728 Esslingen am Neckar

Martha Hör
Peter-Henleinstraße 89
D-90459 Nürnberg

Dott. Marcella Ioele
Istituto Centrale per il Restauro
Piazza San Francesco di Paola, 9
I-00184 Roma

Prof. Heinz Leitner M.A.
Hochschule für Bildende Künste Dresden
Fachklasse Konservierung
und Restaurierung von Wandmalerei
und Architekturfarbigkeit
Güntzstraße 34
D-01307 Dresden

Shin Maekawa PhD
The Getty Conservation Institute
1200 Getty Center Drive, Suite 1100
Los Angeles, California 90049-1688
USA

Eugenio Mancinelli
Via Fortifiocca, 30
I-00179 Roma

Dott. Maurizio Marabelli
Istituto Centrale per il Restauro
Via di San Marino, 36
I-00147 Roma

Dott. Barbara Mazzei
Pontificia Commissione
di Archeologia Sacra
Via Napoleone III, 1
I-00185 Roma

Prof. Dr. Michael Petzet
ICOMOS, Nationalkomitee der Bundes-
republik Deutschland
Bayerisches Landesamt für
Denkmalpflege
Hofgraben 4
D-80539 München

Prof. Dr. Dieter Planck
Landesamt für Denkmalpflege
im Regierungspräsidium Stuttgart
Berliner Straße 12
D-73728 Esslingen am Neckar

Helmut F. Reichwald
Institut für Museumskunde
Staatliche Akademie der Bildenden Künste
Stuttgart,
Studiengang Konservierung und Restaurie-
rung von Wandmalerei und Steinpolychromie
Birkenwaldstraße 200
D-70191 Stuttgart

Dott. Paola Santopadre
Istituto Centrale per il Restauro
Piazza San Francesco di Paola, 9
I-00184 Roma

Dr. Jörg Seele
IGS München
Isabellastraße 17
D-80798 München

Dr. Stefan Simon
Rathgen Forschungslabor – Staatliche
Museen zu Berlin
Schloßstraße 1A
D-14059 Berlin

Ivan Srša
Hrvatski Restauratorski Zavod
Nike Grškovića 23
HR-10000 Zagreb

Dr. Matthias Staschull
Bayerische Verwaltung der staatlichen
Schlösser, Gärten und Seen
Schloss Nymphenburg
Postfach 380120
D-80614 München

Arch. Antonio G. Stevan
SYNCRO,
Via Portello, 91
I-35129 Padova

Dr. Rupert Utz
Konservierung und Denkmalpflege
Consulting Olching
Ottostraße 6
D-82140 Olching

Dr. Thomas Warscheid
LBW-Bioconsult
Schwarzer Weg 27
D-26215 Wiefelstede

Otto Wölbart
Landesamt für Denkmalpflege
im Regierungspräsidium Stuttgart
Berliner Straße 12
D-73728 Esslingen am Neckar

Dr. Dagmar Zimdars
Regierungspräsidium Freiburg
Ref. 25 – Denkmalpflege
D-79083 Freiburg

ICOMOS · HEFTE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEES

- I. ICOMOS PRO ROMANIA
Exposition / Exhibition / Ausstellung Paris, London, München, Budapest, Kopenhagen, Stockholm 1989 / 1990, München 1989.
ISBN 3-87490-620-5
- II. GUTSANLAGEN DES 16. BIS 19. JAHRHUNDERTS IM OSTSEERAUM – GESCHICHTE UND GEGENWART
Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in der Akademie Sandelmark, 11.–14.9.1989, München 1990.
ISBN 3-87490-310-9
- III. WELTKULTURDENKMÄLER IN DEUTSCHLAND
Deutsche Denkmäler in der Liste des Kultur- und Naturerbes der Welt, eine Ausstellung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit der Dresdner Bank, München 1991. 2. erweiterte Auflage von 1994.
ISBN 3-87490-311-7
- IV. EISENBAHN UND DENKMALPFLEGE I
Erstes Symposium. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, Frankfurt am Main. 2.–4. 4. 1990, München 1992.
ISBN 3-87490-619-1
- V. DIE WIES
Geschichte und Restaurierung / History and Restoration, München 1992.
ISBN 3-87490-618-3
- VI. MODELL BRANDENBURG
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und der GWS – Gesellschaft für Stadterneuerung mbH Berlin / Brandenburg zum Thema Stadterneuerung und Denkmalschutz in den fünf neuen Bundesländern, München 1992.
ISBN 3-87490-624-8
- VII. FERTŐRÁKOS
Denkmalpflegerische Überlegungen zur Instandsetzung eines ungarischen Dorfes / Műemlékvédelmi megfontolások egy magyar falu megújításához, hrsg. vom Deutschen Nationalkomitee von ICOMOS mit der Arbeitsgemeinschaft Alpen-Adria, München 1992.
ISBN 3-87490-616-7
- VIII. REVERSIBILITÄT – DAS FEIGENBLATT IN DER DENKMALPFLEGE?
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Sonderforschungsbereichs 315 der Universität Karlsruhe, 24. – 26.10.1991, München 1992.
ISBN 3-87490-617-5
- IX. EISENBAHN UND DENKMALPFLEGE II
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, Frankfurt am Main, 2.–4.4.1992, München 1993.
ISBN 3-87490-614-0
- X. GRUNDSÄTZE DER DENKMALPFLEGE / PRINCIPLES OF MONUMENT CONSERVATION / PRINCIPES DE LA CONSERVATION DES MONUMENTS HISTORIQUES
München 1992.
ISBN 3-87490-615-9 (vergriffen)
- XI. HISTORISCHE KULTURLANDSCHAFTEN
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS mit dem Europarat und dem Landschaftsverband Rheinland, Abtei Brauweiler, 10.–17.5. 1992, München 1993.
ISBN 3-87490-612-4
- XII. ARCHITEKTEN UND DENKMALPFLEGE
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, des Instituts für Auslandsbeziehungen in Zusammenarbeit mit der Deutschen UNESCO-Kommission und der Architektenkammer Baden-Württemberg, 18.–20.6. 1992, München 1993.
ISBN 3-87490-613-2
- XIII. BILDERSTURM IN OSTEUROPA
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, des Instituts für Auslandsbeziehungen und der Senatsverwaltung Berlin, 18.–20.2.1993, München 1994.
ISBN 3-87490-611-6
- XIV. Christoph Machat (Hrsg.)
DENKMÄLER IN RUMÄNIEN / MONUMENTS EN ROUMANIE
Vorschläge des Rumänischen Nationalkomitees von ICOMOS zur Ergänzung der Liste des Weltkulturerbes / Propositions du Comité National Roumain de l'ICOMOS pour la Liste du Patrimoine Mondial, München 1995.
ISBN 3-87490-627-2
- XV. Michael Petzet und Wolf Koenigs (Hrsg.)
SANA'A
Die Restaurierung der Samsarat al-Mansurah / The Restoration of the Samsarat al-Mansurah, München 1995.
ISBN 3-87490-626-4
- XVI. DAS SCHLOSS UND SEINE AUSSTATTUNG ALS DENKMALPFLEGERISCHE AUFGABE
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Facharbeitskreises Schlösser und Gärten in Deutschland, 5.–8. 10. 1994, München 1995.
ISBN 3-87490-628-0
- XVII. DER GROSSE BUDDHA VON DAFOSI / THE GREAT BUDDHA OF DAFOSI
München 1996.
ISBN 3-87490-610-8
- XVIII. DIE TONFIGURENARMEE DES KAISERS QIN SHIHUANG
Monuments and Sites, Bd. II, München 2001
- XIX. Matthias Exner (Hrsg.)
STÜCK DES FRÜHEN UND HOHEN MITTELALTERS
Geschichte, Technologie, Konservierung. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Dom- und Diözesanmuseums Hildesheim, 15.–18.6.1995, München 1996.
ISBN 3-87490-660-4
- XX. STALINISTISCHE ARCHITEKTUR UNTER DENKMALSCHUTZ?
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz in Berlin, 6.–9.9. 1995, München 1996.
ISBN 3-87490-609-4
- XXI. DAS DENKMAL ALS ALLLAST?
Auf dem Weg in die Reparaturgesellschaft. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Lehrstuhls für Denkmalpflege und Bauforschung der Universität Dortmund, 11.–13. 10. 1995, München 1996.
ISBN 3-87490-629-9
- XXII. DIE BISCHOFSBURG ZU PÉCS. ARCHÄOLOGIE UND BAUFORSCHUNG
Eine Publikation des Deutschen und des Ungarischen Nationalkomitees von ICOMOS mit dem Ungarischen Denkmalmamt, Budapest 1999.
- XXIII. Matthias Exner (Hrsg.),
WANDMALEREI DES FRÜHEN MITTELALTERS. BESTAND, MALTECHNIK, KONSERVIERUNG
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS mit der Verwaltung der Staatlichen Schlösser und Gärten in Hessen, Lorsch, 10.–12.10. 1996, München 1998.
ISBN 3-87490-663-9
- XXIV. KONSERVIERUNG DER MODERNE
Über den Umgang mit den Zeugnissen der Architekturgeschichte des 20. Jahrhunderts. Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS mit der »denkmal '96«, der Europäischen Messe für Denkmalpflege und Stadterneuerung, Leipzig, 31.10.–2.11.1996, München 1998.
ISBN 3-87490-662-0
- XXV. DOM ZU BRANDENBURG
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege, mit Unterstützung des Domstifts Brandenburg und des Fördervereins »Dom zu Brandenburg«, Brandenburg, 2.–3.12.1996, München 1998.
ISBN 3-87490-661-2
- XXVI. LEGAL STRUCTURES OF PRIVATE SPONSORSHIP
International Seminar organized by the German National Committee of ICOMOS with the University of Katowice, Weimar, 17th–19th of April, München 1997.
ISBN 3-87490-664-7
- XXVII. EISENBAHN UND DENKMALPFLEGE III
Drittes internationales Eisenbahnsymposium des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS, Frankfurt am Main, 14.–16.4.1997, München 1998.
ISBN 3-87490-667-3
- XXVIII. DIE GARTENKUNST DES BAROCK
Eine internationale Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege und dem Arbeitskreis Historische Gärten der Deutschen Gesellschaft für Gartenkunst und Landschaftskultur e.V., Schloß Seehof bei Bamberg, 23.–26.9.1997, München 1998.
ISBN 3-87490-666-3
- XXIX. Martin Mach (Hrsg.)
METALLRESTAURIERUNG / METAL RESTORATION
Internationale Tagung zur Metallrestaurierung, veranstaltet vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege und vom Deutschen Nationalkomitee von ICOMOS, München, 23.–25.10.1997, München 1998.
ISBN 3-87490-665-5
- XXX. Michael Petzet
PRINCIPLES OF CONSERVATION / PRINCIPES DE LE CONSERVATION DES MONUMENTS HISTORIQUES München 1999.
ISBN 3-87490-668-X
- XXXI. OPERNBAUTEN DES BAROCK
München 1999.
ISBN 3-87490-669-8
- XXXII. DAS KONZEPT „REPARATUR“, IDEAL UND WIRKLICHKEIT
München 2000.
ISBN 3-87490-671-X
- XXXIII. THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARCHAEOLOGICAL PROSPECTION
München 1999.
ISBN 3-87490-670-1
- XXXIV. Michael Kühnenthal / Helge Fischer
PETER. DIE RESTAURIERUNG DER GRABFASSADEN / THE RESTORATION OF THE ROCKCUT TOMB FAÇADES. München 2000.
ISBN 3-87490-672-8
- XXXV. Michael Kühnenthal (Hrsg. / Ed.)
OSTASIATISCHE UND EUROPÄISCHE LACKTECHNIKEN / EAST ASIAN AND EUROPEAN LACQUER TECHNIQUES
Internationale Tagung des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege und des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit dem Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, München, 11.–13. 3. 1999, München 2000.
ISBN 3-87490-673-6
- XXXVI. HERITAGE AT RISK / PATRIMOINE EN PÉRIL / PATRIMONIO EN PELIGRO
ICOMOS World Report 2000 on Monuments and Sites in Danger, München 2000.
ISBN 3-598-24240-9
- XXXVII. Matthias Exner / Ursula-Schädler-Saub (Hrsg.)
DIE RESTAURIERUNG DER RESTAURIERUNG? / THE RESTORATION OF THE RESTORATION?
Eine Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS in Zusammenarbeit mit dem Hornemann Institut und dem Fachbereich Konservierung und Restaurierung der Fachhochschule Hildesheim / Holzminden / Göttingen, Hildesheim, 9.–12.5.2001, München 2002.
ISBN 3-87490-681-7
- XXXVIII. SPORT – STÄTTEN – KULTUR, HISTORISCHE SPORTANLAGEN UND DENKMALPFLEGE / SPORTS – SITES – CULTURE, HISTORIC SPORT GROUNDS AND CONSERVATION
Internationale Fachtagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Landesamts Berlin im Deutschen Sportforum auf dem Olympia-Gelände in Berlin, 15.–17.11.2001, München 2002.
ISBN 3-87490-680-9
- XXXIX. Jürgen Pursche (Hrsg.)
HISTORISCHE ARCHITEKTUROBERFLÄCHEN
Internationale Fachtagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS und des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege München, 20.–22.11. 2002, München 2003.
ISBN 3-87490-682-5
- XXXX. Ursula Schädler-Saub (Hrsg.)
DIE KUNST DER RESTAURIERUNG / THE ART OF RESTORATION
Internationale Fachtagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS u. des Bayer. Nationalmuseums, München, 14. – 17.5.2003, München 2005.
ISBN 3-935643-28-4
- XLI. Cesare Brandi
DIE THEORIE DER RESTAURIERUNG
Herausgegeben, übersetzt und kommentiert von Ursula Schädler-Saub und Dörthe Jakobs, München 2006 (im Druck).

