

gefördert durch



# Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke

Innovative Maßnahmen zur langfristigen  
Sicherung der Decken- und Wandmalerei  
am Beispiel der Katholischen Kirche  
St. Joseph in Osnabrück

Tagungsband



Fraunhofer IRB  Verlag

# **Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke**

**Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und  
Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück**

Tagungsband



# **Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke**

## **Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück**

Abschlusskolloquium DBU-Forschungsprojekt St. Joseph Osnabrück

*Tagungsband*

Veranstalter:  
Bistum Osnabrück  
Hasestraße 40a  
49074 Osnabrück

Katholische Kirchengemeinde St. Joseph  
Miquelstraße 25  
49082 Osnabrück

**Fraunhofer IRB Verlag**



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9833-0

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9834-7

Abschlussbericht zum von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojekt AZ 30699 „Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke - Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück“

Projektlaufzeit: 22.10.2012–21.10.2015

Abschlusskolloquium

Tagungstermin: 17. November 2016

Tagungsort: Kath. Kirchengemeinde St. Joseph, Miquelstraße 25, 49082 Osnabrück

Veranstalter: Bistum Osnabrück, Hasenstrasse 40a, 49074 Osnabrück

Email: [s.pohlmann@bistum-os.de](mailto:s.pohlmann@bistum-os.de)

<http://www.bistum-osnbrueck.de>

Kath. Kirchengemeinde St. Joseph, Miquelstraße 25, 49082 Osnabrück

Herausgeber, Redaktion: Harald Garrecht, Simone Reeb, Dana Ullmann

Umschlaggestaltung: Simone Reeb, Dana Ullmann

Druck und Bindung: Mediendienstleistungen des Fraunhofer IRB, Stuttgart

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlags unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2017

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

## Inhaltsverzeichnis

Geleitwort _____	7
<i>Heinrich Bottermann</i>	
Grußwort _____	9
<i>Pfarrer Hermann Hülsmann</i>	
Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke _____	11
<i>Ulrich Recker</i>	
Zur Bedeutung des neuromaischen Kirchenbauwerks St. Joseph und der Wand- und Deckenmalerei aus Sicht der Denkmalpflege _____	19
<i>Wiebke Dreeßen</i>	
Die Malerei in der St. Josephskirche: kunsttechnologische und konser- vierungs-technische Besonderheiten _____	25
<i>Eike Dehn</i>	
Zielsetzung des Vorhabens und innovativer Projektansatz zur langfristigen Sicherung der Wand- und Deckenmalerei _____	33
<i>Harald Garrecht</i>	
Restauratorische Arbeiten an der Raumschale _____	47
<i>Andreas Eichholz</i>	
Messen-Steuern-Regeln: Potenziale von Monitoring und Raumluft- optimierung zur präventiven Konservierung malereitragender Wand- und Deckenflächen _____	61
<i>Harald Garrecht, Simone Reeb, Christian Renner, Dana Ullmann</i>	
Untersuchungen zur mikrobiellen Besiedlung in St. Joseph, Osnabrück unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen von Sanierungs- maßnahmen _____	81
<i>Karin Petersen, Ulrich-Markus Fritz, Gabriele Krüger</i>	

Restauratorische Begleitung von Klimamessungen und naturwissen- schaftliche Untersuchungen _____	99
<i>Dörthe Jakobs</i>	
Partizipative Energie _____	107
<i>Ulrich Recker</i>	
Raumklimaoptierung und Energieeffizienz im Baudenkmal – Bedeutung gebäudetechnischer Konzepte und Potenziale von Energiespeichern _____	117
<i>Harald Garrecht, Christian Renner, Simone Reeb</i>	

## Geleitwort

*Dr. Heinrich Bottermann, Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt*

Die Kirche St. Joseph in Osnabrück kann im Jahr 2017 auf ihr 100-jähriges Bestehen zurückblicken. Aufgrund geänderter Nutzungsansprüche hat sich das Gebäude in den letzten Jahren stark verändert. Es wurde nach den neuen Bedürfnissen und Anforderungen der Kirchengemeinde hin umgebaut. Auffallend ist die Verkleinerung des Kirchenraums, der sich nun auf Querhaus und Altarbereich konzentriert. In das so frei gewordene Langhaus wurde ein Gemeindezentrum eingestellt. Es bietet der Gemeinde heute Raum und Platz zur Intensivierung des Gemeindelebens innerhalb des Kirchenbauwerks.

Teil der Umbau- und Sanierungsarbeiten waren auch die Restaurierungs- und Sicherungsmaßnahmen an den Wand- und Deckenmalereien. Entgegen der damals üblichen Formsprache der Neugotik hat der Münchener Künstler Prof. Augustin Pacher ein Bildprogramm gemäß den Leitlinien der Romantik entworfen. Dieses wurde erst von Albert Emminghaus und nach dessen Tod durch Bernhard Riepe umgesetzt. So entstand aus dieser Zeit ein in Norddeutschland einzigartiges Wandgemälde.

Allerdings haben Luftschadstoffe durch das starke Fahrzeugaufkommen sowie durch inzwischen stillgelegte Industriebetriebe jahrzehntelang auf die Malereien einwirken können und den Bestand stark geschädigt. Die ehemalige Warmluftheizung hat außerdem zu Luftverwirbelungen und somit zu Staub- und Öblagerungen geführt. Eine unzureichende Belüftung förderte die Bildung von Schimmelpilzen.

Ziel des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Modellvorhabens war es daher, die komplexe Wechselwirkung zwischen dem verkleinerten Kirchenraum und der Raumschale eingehend zu erforschen und ein aus denkmalpflegerischen Gesichtspunkten verträgliches Konzept der Temperierung sowie der Be- und Entlüftung des Kirchenraumes zu erstellen und zu erproben, um dadurch für einen dauerhaften Erhalt des Denkmalbestandes zu sorgen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine umfangreiche naturwissenschaftliche Untersuchung des Raumklimas sowie des Malereibestandes durchgeführt. Die Malereien wurden beispielsweise durch die Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst detailliert mikrobiologisch hinsichtlich des bestehenden Schimmelbefalls

untersucht. Ein Klimamonitoring protokollierte im Projektzeitraum Temperatur und relative Luftfeuchte an diversen Stellen im Innenraum. Besonders von Interesse waren dabei die Bedingungen im Nahfeld der Malereien und hier vor allem in der Kuppel. Die gewonnenen Ergebnisse waren nicht nur Grundlage für das restauratorische Konzept, sondern bildeten auch maßgeblich die Basis für die neu geschaffene Querlüftung durch die sensorgesteuerten Fenstermotoren.

Da in direkter Nachbarschaft zur Kirche im Rahmen einer Quartierslösung ein Blockheizkraftwerk (BHKW) installiert wurde und der Kirchenbau fast vollständig unterkellert ist, wurde im Rahmen des Vorhabens darüber hinaus die Möglichkeit zur Speicherung überschüssiger Energie im Untergeschoss untersucht. Hierfür wurde im Keller ein Speicher aus Phasenwechselmaterial eingerichtet, über den die Zwischenspeicherung möglicher überschüssiger Energie aus dem BHKW simuliert wurde. Die Versuche zeigten, dass mittels einer solchen Anlage eine Unterstützung der im Kirchenraum neu installierten Fußbodenheizung möglich und sinnvoll wäre.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt bedankt sich bei allen Projektpartnern, die durch ihr engagiertes Mitwirken maßgeblich zum Erfolg des Projektes beigetragen haben. Nur durch das interdisziplinäre Team, bestehend aus Vertretern der Kirchengemeinde und des Bistums, Architekten, Haus- und Klimatechnikern, Denkmalpflegern, Restauratoren und Mikrobiologen, konnte das ambitionierte Ziel erreicht werden. Die Ergebnisse des Projektes werden in der vorliegenden Publikation zusammengefasst und dokumentiert. Sie stehen damit anderen Kirchengemeinden als Motivation, Modell und Leitfaden zur Verfügung.

# Grußwort

*Pfarrer Hermann Hülsmann, Katholische Kirchengemeinde St. Joseph*

## Liebe Leserinnen und Leser!

„Gemeinsam Zukunft bauen!“ Unter diesem Leitwort haben wir uns in der St. Joseph-Gemeinde 2011 auf den Weg gemacht, um unser Kirchengebäude zu renovieren und zugleich unsere Gemeinde, die sich in diesem Gebäude trifft und für die dieses Gebäude steht neu zu profilieren und für die Zukunft zu stärken. Mit hohem Engagement haben sich unsere Gemeindemitglieder, insbesondere die Mitglieder unserer Gremien, auf diese Herausforderung der Innenrenovierung eingelassen und in enger Kooperation mit den begleitenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Bischöflichen Generalvikariats Osnabrück umgesetzt.

Sehr schnell wurde deutlich, dass für die Zukunft gut aufgestellt zu sein auch bedeutet, sich über die nötigen Energieressourcen Gedanken zu machen. Unser Architekt, Herr Ulrich Recker, entwickelte schon früh die Idee der energetischen Quartiersplanung, die davon geleitet war, weiter als unser Kirchengebäude zu denken und alle kirchlichen Gebäude im Umfeld mit in den Blick zu nehmen. Mittlerweile ist draus eine gemeinsame Energieversorgung für Kirche, Pfarrhaus und Kardinal-von-Galen-Haus geworden, welche noch erweiterbar ist. Gerade die vielen beteiligten, unterschiedlichen Orte ließ die Frage aufkommen, ob es nicht sinnvoll wäre, Zwischenspeicher für gerade im Moment nicht genutzte, aber vorhandene Energie zu haben. Durch die Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück und der Kreativität und der Arbeit von Professor Garrecht und dem Team seines Instituts an der Universität Stuttgart ist so im Keller der Kirche ein Modellspeicherort entstanden, der diese Frage beantworten will und einen Lösungsansatz bietet, der zu einem noch verantwortlicherem Umgang mit unserer nicht unbegrenzt vorhandenen Energie einlädt. Und ganz praktisch freut sich die Gemeinde über diesen Modellort, da in dem Zusammenhang eine ursprünglich nicht vorgesehene Fußbodenheizung in die Kirche eingebaut worden ist.

In vielen Sitzungen, Telefonaten, Gesprächen und Diskussionen haben wir gemeinsam an der Zukunft von St. Joseph gebaut. Einer der großen Motoren dieser Prozesse und unermüdlicher Motivator war Nikolaus Schuck, ohne den manche Verbindung kaum entstanden wäre. Er ist leider kurz nach Abschluss der Innenrenovierung und der feierlichen Rückkehr in die Kirche verstorben. Er wäre heute sicher

mit Freude bei uns, aber seine Zukunft hat sich an einem anderen Ort bereits vollendet. Wir sind ihm bleibend dankbar für all seinen Einsatz.

„Gemeinsam Zukunft bauen“ Unter diesem Leitwort haben wir uns in und für St. Joseph auf den Weg gemacht. Gerade das heutige Kolloquium und die Vielheit der Beiträge zeigen dabei, dass wir gelernt haben, weit über St. Joseph hinaus zu schauen. Wir haben hier exemplarisch etwas entwickelt, woran woanders und von anderen weitergebaut werden kann und soll. So wird deutlich, dass unsere kleine Zukunft in eine größere eingebunden ist, dass unsere einzelnen Projekte in einen größeren, weiteren Zusammenhang gehören. Insofern war es auch eine im guten, ursprünglichen Sinn katholische Erfahrung, die wir alle zusammen mit und durch unsere Innenrenovierung machen durften. Danke allen, die den Mut hatten daran mitzuwirken.

# Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke

*Ulrich Recker, Architekt*

Zeitgemäße/zukunftsfähige Energieformen nahmen für die Umbaumaßnahmen eine übergeordnete Bedeutung ein:

Mit der gleichen Aufmerksamkeit zur Gestaltung und Erhaltung der inneren Werte zum Raum der Seele wurde auch die Umwelt mit ihrem Umgang von den am Ort vorhandenen Ressourcen beachtet und eingefordert.

Ein Leitgedanke ergab sich beinahe selbstverständlich aus der eher philosophischen Auffassung von „der Energie als Grundkraft“, statt der eher physikalisch/wissenschaftlich oder mathematischen oder der „grauen“ Energie:

- die 1. Energie baut die Kirche
- die 2. Energie erhält die Kirche
- die 3. Energie vermeidet die vernichtende „Energie des Abrisses“, sondern nutzt die ersten Energien zum Erhalt der Kirche unter Beachtung der 4. Energie:
- die 4. Energie beabsichtigt die örtlich verfügbaren Umweltenergien in das Gesamtkonzept einzubinden, um mit einer bedarfsgerechten Beheizung und Belüftung die Nutzbarkeit der Kirche den heutigen Ansprüchen anzupassen, aber die historisch und künstlerisch bedeutenden Wand- und Deckenmalereien zu erhalten.

Dank der Hilfe der DBU Osnabrück konnten innovative Speicherkonzepte zur Raumklimaoptimierung erprobt werden, die in sehr umfassenden Untersuchungen dokumentiert sind.

Einige Bemerkungen zur Klimaethik der Architektur und der philosophischen Energie-Einordnung:



**Zur 1. Energie:**

Die 1. Energie baut die Kirche mit Hilfe der Nachbargemeinde St. Joseph Osnabrück: Grundsteinlegung 1913, Architekt: Albert Feldwisch Dentrup

In einer Zeit, als Europa am Beginn des 1. Weltkrieges steht wird eine Kirche gebaut! Welch ein Zeichen!

Dennoch, zum Bauen werden sehr umfangreiche, am Ort oder in unmittelbarer Nähe vorhandene Materialien genutzt, das Klima mit der Herstellung und Verarbeitung zum ersten Mal belastet.

Aber: Mit einer ungewöhnlichen Kreativität, Liebe zum Detail und einem Bauwerk, das in der Mitte der Gemeinde aufgebaut wird.

**Zur 2. Energie:**

Die 2. Energie erhält das Kirchengebäude, „belastet“ aber weiterhin die Umwelt, da die Innenräume mit einer teilweisen einzigartigen Wand- und Deckenmalerei weiter ausgestaltet werden:

- Dem Pacher-Bild an der Chorwand, Datierung: 1926–1932?  
Entwurf: Augustin Pacher  
Ausführung: Albert Emmighaus  
Fertigstellung: ab 1932 durch Bernhard Riepe
- Ausgestaltung des Chorraumes und der Vierungskuppel 1932–1942 durch Bernhard Riepe
- Nach 1945: Reparatur von Kriegsschäden, Einbau einer neuen Orgel, Altar rückt von der Chorwand/Hochaltar in die Mitte des Chorraumes, diverse Erhaltungsmaßnahmen am Dach und den Außenwänden

**Zur 3. und 4. Energie:**

Mit der 3. und 4. Energie wird die Kirche umgebaut und die Klimaethik der Architektur eingefordert:

Insofern ist das „Klimaethische Architekturkonzept“ auch eingebunden in eine energetische Quartiersplanung/Versorgung, die die Kirche, den Kindergarten, das Pfarrhaus und den Neubau der Wohngemeinschaft gemeinsam versorgt. Dazu gehört dann auch der Einbau des Pfarrheims, mit dem ein sehr großer Teil der Kirche mit neuen Nutzungen ausgestattet werden kann. (Dieses gilt insbesondere für den seit Jahren ungenutzten, aber attraktiven Orgelboden.)

# 1 Grundlagen/Ideen

Die Renovierung und der Umbau der Kirche sind auf vier Entwicklungsstufen gestellt:

- Dem Respekt und der Achtung vor der gebauten Kirche, sowie der Möglichkeit der Reversibilität bei den neuen Einbauten als grundsätzliche Leitidee.
- Dem äußeren Konzept, als übergeordneter Entwurfsgedanke zur Einbettung der Renovierung und der Umbauten in die Entwicklungsgeschichte der Gemeinde St. Joseph mit Ihrer Stadt Osnabrück.
- Der Anpassung der liturgischen Ordnung an das 2. Vatikanische Konzil.
- Dem Umgang der Christen mit Ihrer Umwelt: dem „Klimaethischen Architekturkonzept“.

Auf diesen vier Säulen gelingt dann, in gemeinsamer Planungsarbeit mit den Gremien, der Kirchengemeinde, dem BGV–Osnabrück, dem Stephanswerk und den fachlich sowie handwerklich Beteiligten eine Erneuerung, die das Kirchengebäude und damit die Gemeinde in eine nachhaltige Zukunft führt und die im Stadtteil besonders eindrucksvolle und aktive Urbanität sichert und das Verhältnis der Bewohner zu Ihren Kultgebäuden hoffentlich fördert!

## 2 Äußeres Konzept/Übergeordnetes Konzept

Die grundsätzliche Leitidee verschafft nicht nur den Respekt vor der gebauten Kirche und die nötige Distanz und Sensibilität, sondern insbesondere eine Feststellung vom Dichter Johann Christoph Friedrich von Schiller einzuhalten:

„Einfachheit ist das Resultat der Reife“.

Mit diesen Vorgaben gestaltet sich das übergeordnete Konzept eben sehr einfach und selbstverständlich:

Im äußeren Konzept ist das Thema „Weg“ als übergeordnete Entwurfsvorgabe gewählt worden:

Als Weg ist die nord-südlich verlaufende Straßenfolge: Hasestraße, Domhof, Große Straße, Johannisstraße und Iburger Straße gemeint.

Dieser Weg beginnt am Domhof mit dem Dom und seinem Vorplatz am Weg; der Johanniskirche mit wesentlich kleinerem Vorplatz und der Lutherkirche als Umlenkort zur St. Joseph-Kirche: direkt am Weg liegend.

- Dom, Johanniskirche und Lutherkirche liegen in der „1. Reihe“: Als Anlieger der Straßenfolge - „Am Weg“.

- Die St. Joseph–Kirche, als "Arbeiter- und Handwerkerkirche", liegt aber in der „2. Reihe“ - innerhalb des städtischen Quartiers.

Der Weg im Quartier ist ein ebenso bedeutsamer, wie die nord-südliche Straßenfolge zur Verknüpfung mit dem Dom:

Die Lutherkirche als ev. Kirche liegt als Umlenkort direkt am städtischen Weg: der Nord-Süd-Achse und bildet den Eingang zum Quartier oder anders betrachtet:

Sie begrenzt dieses Quartier im Westen.

Die St. Joseph–Kirche begrenzt es im Osten.

Im Dialog Ihrer Türme klingt eine Toleranz, die die Historie reflektiert: Die Stadt Osnabrück wurde mit dem westfälischen Frieden bikonfessionell. Beide Konfessionen tolerierten sich! Ein Modell, dass sich nach dem dreißigjährigen Krieg Jahrhunderte bewährte.

Ist es daher nicht selbstverständlich, die vorhandenen Energieressourcen am Ort zu nutzen? Diese weiter zu entwickeln?

– Einzigartig –

### 3 Zweites Vatikanisches Konzil/Inneres Konzept

Zum Inneren Konzept verhalf dann ein Hinweis von Herrn Pfarrer H. Hülsmann, die Kirche mit ihren inneren Werten zu erneuern:

Dem Hinweis auf das Nachsynodale, Apostolische Schreiben: *Verbum Domini* vom 30.09.2013 von Papst Benedikt XVI. über das Wort Gottes im Leben und der Sendung der Kirche, mit folgendem Textauszug:

#### **Das Wort und die Stille**

Nicht einige Beiträge der Synodenväter haben den Wert der Stille in Bezug auf das Wort Gottes und seine Annahme im Leben der Gläubigen hervorgehoben. In der Tat kann das Wort nur in der inneren und äußeren Stille ausgesprochen und gehört werden. Unsere Zeit ist der inneren Sammlung nicht förderlich. Und manchmal hat man den Eindruck, dass geradezu eine Angst besteht, sich auch nur für einen Augenblick von den Massenkommunikationsmitteln zu trennen. Daher ist es heute notwendig, dem Gottesvolk den Wert der Stille zu vermitteln.

Die Zentralität des Wortes Gottes im Leben der Kirche wiederzuentdecken bedeutet auch, den der inneren Sammlung und Ruhe wiederzuentdecken. Die große patristische Überlieferung lehrt uns, dass die Geheimnisse Christi an die Stille gebunden sind, und nur in ihr kann das Wort Raum in uns finden, wie in Maria, die zugleich Frau des Wortes und der Stille ist – diese Aspekte sind in ihr nicht voneinander zu trennen.

Unsere Gottesdienste müssen dieses wahre Hören erleichtern: Verbo crescente, verba deficiunt.

Dieser Wert muss insbesondere in der Liturgie des Wortes aufscheinen, die „so zu feiern [ist], dass sie die Betrachtung fördert“.

Dort, wo das Schweigen vorgesehen ist, ist es „als Teil der Feier“ zu betrachten. Ich rufe daher die Hirten auf, die Momente der Sammlung zu fördern, durch die mit Hilfe des Heiligen Geistes das Wort Gottes im Herzen aufgenommen wird.

Die Inhalte zum Textauszug:

Das Wort und die Stille sind sicherlich für einen Kirchenraum selbstverständlich und nachvollziehbar!

In der beabsichtigten Baumaßnahme sollten aber Teile einer bislang sakralen Nutzung in eine profane umgebaut werden (also in jeglicher Art der neuen Nutzung: mehr Öffentlichkeit, weniger Ruhe).

Oder so betrachtet:

In Teilen der inneren Stille (Kirche) zieht eine doch eher weltlich orientierte Nutzung ein, mit all ihren Begleiterscheinungen und Kommunikationsmitteln.

Somit musste ein bislang einheitlich sakral genutztes Gebäude mit einer gegensätzlichen Nutzung zum obigen Textauszug „Das Wort und die Stille“ umgebaut werden!

Die Lösung der Umbaumaßnahme konnte deshalb nur darin liegen, den verbleibenden Kirchenraum zu einem „Raum des Schweigens“, zu einem „Raum der Seele“ umzubauen und dieses vor allem im Verzicht auf die sonst üblichen Details und Massenkommunikationsmittel eines Kaufhauses oder einer Passage usw. (siehe Anlagen zum Beitrag: Partizipative Energie)

Hierzu hat – sozusagen im „Hintergrund“ – der Textauszug „Das Wort und die Stille“ immer wieder geholfen und Entscheidungen zurechtgerückt, aber, eben insbesondere auch die Klimaethik der Architektur, die historische Klimabelastungen einbezieht!

Die vorhandene Gebäudearchitektur hat selbstverständlich auch dazu beigetragen, da die Wege-Kirche St. Joseph einen Zentralraum (Vierung) mit überaus großer Kuppel besitzt. Der Zentralraum ist dann der Ursprungsraum zur Neugestaltung geworden:

## 4 Neuordnung

Architekturanalyse/Innere Werte:

Die vier Evangelisten, Johannes, Lukas, Matthäus und Markus, als die vier tragenden Säulen der zentralen Kuppel mit dem Pfingstwunder bilden die Eckpfeiler/tragenden Steine der Kirche.

Der architektonische Mittelpunkt ist die Kuppel mit der Darstellung des Pfingstwunders.

Nach dem Umbau versammelt sich die Gemeinde im Wirkungskreis der vier Evangelisten um den Altar zur Liturgiefeier – unter der Kuppel –, unter der Darstellung des Pfingstwunders.

So kann ein weiterer Raum der Seele als „innerer Wert“ zukunftsfähig erhalten werden.

## 5 Einige Erläuterungen zur Raumgestaltung

Der neue/alte Kirchenraum gliedert sich vertikal in drei Ebenen:

- Der Versammlungsebene mit der feiernden Gemeinde und dem Altar, der auf einem zweistufigen Altarpodest angeordnet wurde.
- Der 1. Beleuchtungsebene mit den Pendelleuchten, die dem Wirkungskreis der vier Evangelisten folgt.
- Der Decken und Gewölbeebene, die als „beleuchteter Lampenschirm“ (mittels Strahler über den vier Evangelisten) der feiernden Gemeinde Licht spendet.

Horizontal und vertikal betrachtet beherrscht die Kuppel mit dem Pfingstwunder den neuen Raum. Der Altar als Mittelpunkt ist in diese neue Mitte hineingerückt worden.

Der Altar ist der eigentliche Ort der Mitte, auch wenn diese nicht in der geometrischen Mitte liegt, aber, mit dem Priester vor dem Altar schließt sich der Kreis der versammelten Gemeinde zur Teilnahme am gemeinsamen Gottesdienst. Die Gemeinde wird zum Mittelpunkt, zur Mitte.

Mit seiner künstlerisch überragend gestalteten Einfachheit vermittelt er zwischen der versammelten Gemeinde und der umgebenden Raumschale, mit ihren zahlreichen Architektur- und Gestaltungselementen.

Zur Gestaltung der neuen Einbauten (Pfarrheim) ist immer als Ausgangsüberlegung der Kirchenraum genommen worden:

So sind die Arkadenleuchten identisch mit denen in der Kirche...

Die Anschlüsse neu/alt der Wand- und Deckenelemente sind einfach und ohne Begleit-Details ausgeführt, um die vorhandenen Architekturelemente nicht mit neuen zu überlagern!

Die Farbwahl folgt dem Kirchenraum und mit seiner historischen Wand- und Deckenausmalung.

Dennoch wird der neue Raum des Pfarrheims als profan erlebt.

Insgesamt gesehen gibt es sowohl im neuen Kirchenraum, als auch im neu eingebauten Pfarrheim immer wieder „Neues“ und vielleicht auch Ungewohntes zu entdecken:

Hiermit sind unter anderem im Kirchenraum die gestalterischen Überschneidungen gemeint:

- Retabel überschneidet das Schriftband
- Orgel durchbricht die 1. Beleuchtungsebene
- Altarstandort/Stufe schneidet in den Grundkreis der Kuppel ein
- Die Fenster der Werktagkapelle werden vom neuen roten Wandanstrich „zerschnitten“

Zum Pfarrheim:

Zwischen Pfarrheim und Kirche wird der Einbau der Trennwand im Längsschiff wie folgt eingesetzt:

- Die Trennwand wird risalitartig mit dem Kirchenschiff verknüpft (als neuer Orgelstandort).
- Die ehemaligen Seitentüren der Haupttüranlage werden permanent geöffnet, ragen in die offenen Arkaden (Paradies) ein, ohne das Paradies zu verstellen, eher sich mit diesem zu verbinden...

Hinweis: offene Arkaden oder Paradies: ehemaliger Haupteingang der Kirche

Zum übergeordneten Konzept gehört auch der Anschluss an die städtischen Freianlagen.

Die Kirche sollte kein Solitär sein, sondern eingebunden werden in ihr städtisches Umfeld. Entsprechende Ideen und Vorschläge liegen bereits vor, um den sakralen Weg mit dem städtischen zu verknüpfen, um ein klimaethisches Architekturkonzept in das städtische Quartier einzubinden.

Erläuterungen und Skizzen: siehe Beitrag „Partizipative Energie“



# Zur Bedeutung des neuromanischen Kirchenbauwerks St. Joseph und der Wand- und Deckenmalerei aus Sicht der Denkmalpflege

*Wiebke Dreeßen, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege*

**Abstract:** Neuromanische dreischiffige gewölbte Basilika über kreuzförmigem Grundriss mit offener Vorhalle im Westen und wuchtigem Campanile neben dem Chor im Süd-Osten von A. Feldwisch-Drentrup; Grundsteinlegung 1913, Fertigstellung 1922/26. Ausmalung an der Stirnwand des Chores nach Entwürfen von A. Pacher mit Anklängen an den Jugendstil ab 1924 und B. Riepe romanisierend in den Gewölbepartien des Chores, der Querschiffe und der Vierungskuppel bis 1942.

Der repräsentative Kirchenbau von beachtlichen Ausmaßen ist Baudenkmal gemäß § 3 (2) des Niedersächsischen Denkmalschutzgesetzes aus geschichtlichen, künstlerischen und städtebaulichen Gründen.

## 1 Kath. Kirche St. Joseph Osnabrück

### 1.1 Zum Kirchenbau

Infolge der Industrialisierung wuchs Ende des 19. Jahrhunderts die Bevölkerung Osnabrücks in erheblichem Maße auf ca. 52.000 Einwohner an. Für die etwa 17.000 Katholiken standen zwei Kirchen zur Verfügung: der Dom St. Peter, geweiht 785, und die 1011 in der mittelalterlichen sog. Osnabrücker Neustadt gegründete Johanniskirche. Vom Dom wurde die Herz-Jesu-Gemeinde abgepfarrt und in den Jahren 1899–1902 die Herz-Jesu-Kirche am Fuß des Herrrenteichwalles als erster großer katholischer Kirchenneubau in Osnabrück, seit dem Mittelalter, als neugotische Hallenkirche von dem Dombaumeister A. Behnes errichtet.



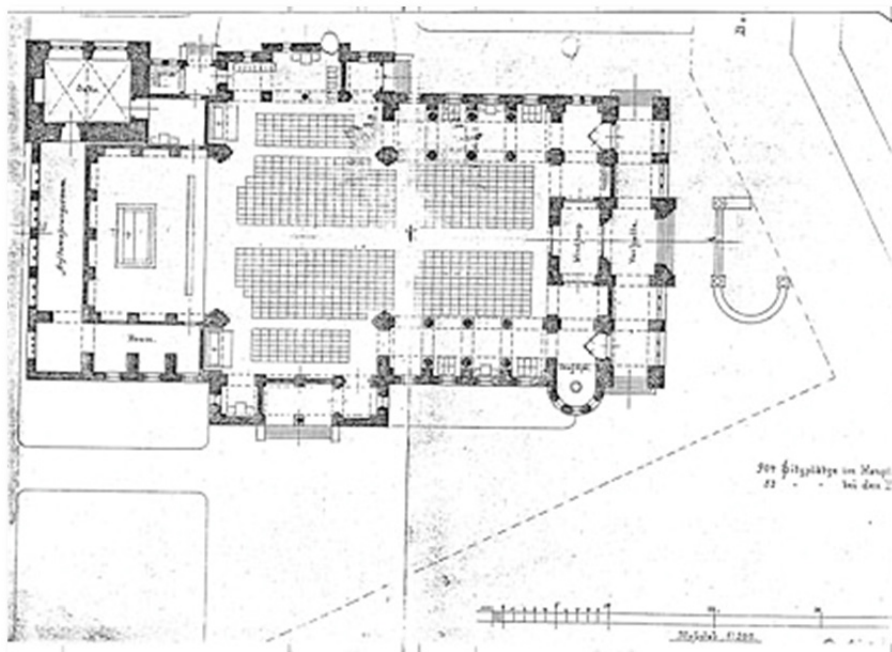


Bild 1 Grundrissdarstellung der St. Josephs Kirche in Osnabrück

Zur Johannismgemeinde zählten um 1900 etwa 10.000 Mitglieder, die im südlichen Stadtteil und den angrenzenden Bauerschaften wohnten. Neben den alt eingesessenen Bevölkerungsschichten lebten in den neuen Wohngebieten fast ausschließlich zugezogene Gemeindemitglieder aus der Arbeiterbevölkerung. Es entstand daher auch hier der Wunsch, eine neue Kirche für die Außenbezirke zu bauen, da akuter Platzmangel in der Johanniskirche herrschte.

Nach der Gründung eines Kirchbausammelvereins 1903 zog sich die Realisierung des Vorhabens mit Erwerb eines Grundstückes, Wettbewerben und Planung noch 10 Jahre hin.

Der Planungsauftrag für den Kirchenneubau wurde, nachdem 1907–1908 an städtebaulich markanter Stelle an der Iburger Straße für die ev.-luth. Bevölkerung die Lutherkirche errichtet worden war, 1912 an den aus Greven stammenden Architekten Albert Maria Anton Feldwisch-Drentrup (1872–1934) vergeben. Am 24.08.1913 wurde schließlich der Grundstein für einen aufwändigen repräsentativen Neubau von beachtlichen Ausmaßen an der Miquelstraße, in Sichtweite der Lutherkirche, gelegt. Als Schutzpatron wurde der heilige Joseph gewählt, der Patron der Kirche, der Familie und der Werktätigen.

Durch den Ausbruch des Ersten Weltkrieges verzögerte sich die Fertigstellung der Kirche, da die meisten Handwerker zum Kriegsdienst eingezogen wurden. Der ungenutzte, aber regensicher gedeckte Bau stand zwei Jahre still und sollte 1917 für kriegswirtschaftliche Zwecke als Militärmagazin genutzt werden. Durch die Einweihung der noch nicht endgültig fertig gestellten Kirche am 15.10.1917 durch den Osnabrücker Bischof Dr. Berning wurde die Beschlagnahme verhindert. Die Fertigstellung der Bauarbeiten, unter großem Einsatz auch der Gemeindemitglieder, erfolgte erst 1922/1926; die Ausmalung zog sich bis 1942 in den Zweiten Weltkrieg hin, die Fertigstellung des mächtigen Schnitzaltars mit der Leidensgeschichte Christi von Friedrich Vornholt, Osnabrück, bis 1941.

Nachdem seit Beginn des 19. Jahrhunderts die Neugotik als maßgeblicher Stil für Kirchenbauten favorisiert wurde, wechselte der Baustil etwa ab 1890 mit der Suche nach einer starken nationalen Identität unter Kaiser Wilhelm II. zur Neoromanik. Wegweisend wurde die Berliner Gedächtniskirche, errichtet 1891–1895.

Auch Feldwisch-Drentrup entwarf eine neuromanische dreischiffige gewölbte Basilika über kreuzförmigem Grundriss, der im Westen eine Vorhalle mit monumentalem Stufenportal vorgelegt ist. Der mächtigen Baumasse der Kirche bietet ein wuchtiger, campanileartiger Turm, der ca. 46 m hoch neben dem Chor aufragt, ein wirkungsvolles Gegengewicht.

Städtebaulich steht er in Korrespondenz zum hoch aufragenden Turm der Ev. Lutherkirche an der Iburger Straße. Das über einem Sandsteinsockel aus Muschelkalkhaustein ausgeführte Äußere der St. Josephskirche weist sorgfältig gearbeitete Gliederungen und Architekturteile mit zum Teil überaus reichem ornamentalem Schmuck auf.



Bild 2 Außenansicht der Kath. Kirche St. Joseph

Im beeindruckenden Innenraum sind Langhaus, Chor und Kreuzarme von Tonnengewölben überspannt, in die die Fenster des Obergadens mit Stichkappen eingeschnitten sind. Räumliches Zentrum der Kirche ist die mit einer großen Flachkuppel über Pendentifs überwölbte Vierung. Das breitgelagerte Mittelschiff des Langhauses wird von schmalen Seitenschiffen begleitet, der Chor durch einen Umgang umfasst. Mit kräftigen und klaren Formen heben sich Wandaufbau und in Sandstein hergestellte Gliederungselemente wie die Einfassung der Bögen und das im Raum

umlaufende, in Stein gemeißelte Schriftband zwischen unterer und oberer Wandzone von den verputzten Wandflächen ab.



Bild 3 Blick in das Kirchenschiff vor der Umgestaltung bzw. Restaurierung

In das Mittelschiff des Langhauses ist nach sechsjähriger Planungs- und Realisierungsphase von 2007 bis 2013 aufgrund der heutigen wieder rückläufigen Zahlen an Gemeindemitgliedern und Kirchenbesuchern das Gemeindezentrum in reversibler Baukonstruktion integriert worden. Chor, Vierung und Querhäuser mit einer Neugestaltung des Altarraumes sowie die Einrichtung einer Werktagkapelle hinter dem Hochaltar dienen weiterhin dem Gottesdienst. Diese vorwiegend aus ökonomischen Gründen erforderliche Maßnahme diene somit den Anpassungen dieses großen Kirchenraumes an die heutigen Erfordernisse. Auch wenn der ursprüngliche Gesamteindruck des beeindruckenden Innenraumes durch den Einbau des Gemeindezentrums nur noch sehr eingeschränkt nachvollziehbar ist, wurde die Lösung von Seiten der niedersächsischen Landesdenkmalpflege mitgetragen; dient sie letztlich doch dem Erhalt dieses großen Gotteshauses durch eine intensivere Nutzung durch die Gemeinde.

## 1.2 Zur Ausmalung des Kirchenraumes

Die von der Kirchengemeinde gewünschte Ausmalung der Kirche wurde ab 1924 in Angriff genommen und dem Münchener Kunstprofessor Augustin Pacher übertragen. Es sollte ein Gesamtkunstwerk von Malerei, Architektur und Ausstattung entstehen. Pacher starb jedoch schon 1926, lieferte zuvor aber noch Entwürfe für die Ausmalung des Chores. Die Ausführung an der Chorrückwand, die das „jüngste Gericht“ mit Christus als Weltenrichter als mächtiges Wandbild darstellt, wurde daraufhin in einer Mischtechnik aus Kalkmalerei und sehr dünnen wässrigen Lasuren, verziert mit Blattmetallaufgaben und ölgebundenen Lüstern sowie vergoldeten Applikationen aus Nägeln und halbierten Holzkugeln, von dem Osnabrücker Kunstmaler Albert Emminghaus übernommen. Dieser verunglückte jedoch kurz

nach Beginn der Arbeiten tödlich bei einem Sturz vom Gerüst. Erst 1932 wurde die Ausmalung durch Bernhard Riepe (1896–1968) aus Osnabrück fortgesetzt und das „Jüngste Gericht“ zu Ostern 1933 fertiggestellt. Mit den weiteren Ausmalungen von Chor, Vierungskuppel und Querschiffen wurde ebenfalls Riepe beauftragt, der jedoch auf Einwirken des Bischofs nicht die Entwürfe Pachters umsetzte, sondern eigene Entwürfe.

Während in Pachters Konzept Anklänge an den Jugendstil sichtbar werden, sind die Entwürfe Riepes eher konventionell im neoromanischen Sinn mit Bezügen zu italienischen Vorbildern und Anklängen an die Malereien Giotto's, zu denen er sich hingezogen fühlte. Er strebte eine zusammenhängende, teppichartige, flächige Wirkung an, ohne die Einzelheiten besonders stark hervortreten zu lassen. Im Chorgewölbe sind Szenen aus dem Alten Testament dargestellt sowie in der oberen Gewölbefläche in drei rechteckigen Feldern Szenen aus dem Leben Jesu. Die zentrale Vierungskuppel hat das Pfingstwunder zum Thema. Im Gewölbe des nördlichen Querhauses, auch Marienbogen genannt, zeigt ein Bilderzyklus Szenen aus dem Leben Marias. Das südliche Querhaus, auch Josephbogen bezeichnet, ist dem Leben des heiligen Joseph gewidmet. Eine Ausmalung des Langhauses erfolgte nicht.

Gegen Ende des Zweiten Weltkrieges wurde die Kirche durch Bomben beschädigt. Bereiche der Außenmauern und des Daches erlitten schwere Zerstörungen. Die Fenster wurden nahezu zerstört. Die Vierungskuppel wies Risse und ein Loch auf. Eindringendes Wasser verursachte Schäden an der Malerei. Die Kirchengemeinde beschloss, die beschädigten Malereien zu übertünchen. Aufgrund eines Gutachtens des damaligen niedersächsischen Landeskonservators Prof. Dr. Deckert wurde die Genehmigung zur Übermalung der Malereien durch den Bischof 1950 jedoch nicht erteilt, und Riepe führte die Ausbesserungen zusammen mit einem anderen Maler selbst durch. Deckert bezeichnete die Malereien in Chor und Vierung als einen sehr ernsthaften Versuch neuer kirchlicher Kunst. Besonders sei hervorzuheben, dass der Maler mit größter Zurückhaltung in der Farbe und feiner Rücksicht auf die Architektur, ernst und ohne Künstelei die heiligen Szenen dargestellt habe. Einzelheiten seien von großer Feinheit.

## 2 Heutige denkmalpflegerische Bewertung

Kirche und Malerei haben sich bis zu den jetzt erfolgten Teilumnutzungs-, Umbau- und Sanierungsmaßnahmen weitgehend unverändert erhalten. Lediglich im Chorbereich wurden die ehemals bemalten Fensternischen weiß überstrichen ebenso wie die mit großen Engeln bemalten Wandflächen oberhalb der Chor-Arkaden, so dass die künstlerische Gesamtwirkung dort geschmälert wurde. Bei der jetzt erfolgten Neugestaltung des Altarraumes ist diese ursprüngliche Konzeption nicht wieder

aufgegriffen, sondern eine monochrome Farbigkeit für diese Flächen gewählt worden. Die 1982 im nördlichen Querschiff aufgestellte Kreienbrink-Orgel hat ihren neuen Standort vor der neu eingezogenen Trennwand zum Gemeindehaus erhalten und bildet in dem verkleinerten Gottesdienstraum ein optisches Gegengewicht zum Chorraum mit dem Altar und Pacher-Gemälde vom „Jüngsten Gericht“.

Die St. Josephskirche erfüllt aufgrund ihres Zeugnis- und Schauwertes die Anforderungen an ein Baudenkmal gemäß § 3 Abs. 2 des Niedersächsischen Denkmalschutzgesetzes. An der Erhaltung dieses großen neoromanischen Kirchenbaus aus dem ersten Viertel des 20. Jahrhunderts, der noch ganz im Späthistorismus mit der traditionellen basilikalischen Grundstruktur verwurzelt ist, besteht insbesondere aus geschichtlichen, künstlerischen und städtebaulichen Gründen ein öffentliches Interesse. Mit ihrer qualitätvollen Architektur und Ausmalung stellt die Josephskirche nicht nur im Bistum Osnabrück, sondern überregional ein das kulturelle Erbe in der Bundesrepublik Deutschland mitprägendes Bauwerk dar.

### 3 Literatur

Dehio, Georg: Handbuch der deutschen Kunstdenkmäler Bremen, Niedersachsen, S. 1049–1050, München, Berlin: Deutscher Kunstverlag, 1992.

Denkmaltopographie Bundesrepublik Deutschland – Baudenkmale in Niedersachsen - Stadt Osnabrück Bd. 32, 1986.

Poppe-Marquard, Hermann: Osnabrücker Kirchenchronik. Osnabrück: Meinders & Elstermann.

Pohlmann, Reimund: Die Sankt-Josephs-Kirche in Osnabrück, Magisterarbeit (Osnabrück), 1984.

butt restaurierungen GmbH: Restauratorische Untersuchungen zum überlieferten Malereibestand von Bernhard Riepe, Konzeptentwicklung zur Konservierung, Restaurierung und Präsentation, Lübeck: 2012.

Kath. Pfarrgemeinde St. Joseph Osnabrück: Festschrift zum Wiedereinzug in unsere Kirche St. Joseph am 24. August 2013, Osnabrück: Individual Druck, 2013.

Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege: Aktenbestände.

# Die Malerei in der St. Josephskirche: kunsttechnologische und konservierungstechnische Besonderheiten

*Eike Dehn, Restaurierungswerkstätten Onnen*

**Abstract:** Der Autor hat im Rahmen einer Restauratorischen Fachbauleitung die Ausführung der Konservierungs- und Restaurierungsarbeiten an den Malereien Riepes begleitet. Der Entwurf durch den Münchener Gestalter Pacher, seine Umsetzung durch die Maler Emminghaus und Riepe sowie die zeitgeschichtlich bedingten Konzeptionswechsel werden beleuchtet und technologische Konsequenzen aufgezeigt. Die daraus resultierenden konservatorischen Probleme werden vorgestellt und Maßnahmen erläutert.

## 1 Einleitung

Die Ausmalung der Josephskirche aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist in der öffentlichen Wahrnehmung bisher kaum ausreichend gewürdigt worden. Eine bemerkenswerte Magisterarbeit von POHLMANN arbeitet 1984 die Eigenständigkeit der Malerei heraus [1]. Mindestens drei verschiedene Künstler zeichnen sich für die Ausmalung des Kirchenraumes verantwortlich: Der angesehene Münchener Gestalter Prof. PACHER tritt 1924 als Entwurfsgeber auf. Es vergehen noch einige Jahre, bis der Kunstmaler EMMINGHAUS 1926 mit den Arbeiten am Ostwandgemälde beginnt. EMMINGHAUS arbeitet in einer raffinierten Mischtechnik aus Kalkmalerei und hauchdünnen, wässrigen Lasuren, die von Blattmetallaufgaben und ölgebundenen Lüstern verziert werden. Vergoldete Applikationen aus Nägeln und halbierten Holzkugeln erhöhen den dekorativen Charakter der Malerei an der Ostwand, die sowohl den technischen als auch den künstlerischen Höhepunkt innerhalb der malerischen Raumgestaltung bildet.



Bild 1 Detail aus dem Pacher/Emminghaus/Riepe-Gemälde an der Ostwand nach der Reinigung

Bereits nach kurzer Zeit kommt es 1927 zu einem tödlichen Absturz EMMINGHAUS' vom Gerüst, woraufhin RIEPE die Arbeiten ab Herbst 1932 fortführt. Dieser stellt zunächst das Ostwandgemälde fertig und bedeckt bis kurz vor Ende des Krieges nahezu alle Decken- und partiell auch die Wandflächen von Chor und Vierung mit großformatigen Malereien. Nach kriegsbedingten Schäden kann RIEPE noch selbst Ausbesserungsarbeiten vornehmen. In den Folgejahren kommt es zu partiellen Übermalungen der Malereien, die aber durch Intervention des Landeskonservators gestoppt werden können.

Die Josephskirche hat eine bewegte Bau- und Ausstattungsgeschichte. Einzelne Sandsteinbauteile und Tympana stehen bis heute ohne ornamentale oder figürliche Verzierung – eine Folge der ersten Bauunterbrechung durch den I. Weltkrieg. Als man sich Mitte der 1920er Jahre entschloss, die nackte Abschlusswand des Chorraumes mit einem Gemälde zu schmücken, konnte man nicht ahnen, dass sowohl der Entwerfer PACHER als auch der Maler EMMINGHAUS die Fertigstellung ihrer Arbeiten nicht mehr erleben sollten.

Pachers Entwurf ist auf der Höhe der Zeit. Die Kombination verschiedener Maltechniken als Mischtechnik aus Kalk- (genannt wird auch Wasserglastechnik), Tempera- und Ölmalerei in Kombination mit Goldauflagen und Applikationen ist ein



direkter Verweis auf die in den 1920er Jahren stattfindenden Forschungen zu mittelalterlicher Wandmalerei. Die expressive Gestaltung und die prominente Verortung des Themas „Jüngstes Gericht“ an die Schauwand der Josephskirche kann als direkte Folge der gesellschaftlichen und politischen Instabilität der 1920er Jahre gelesen werden. Umso schwieriger muss es Riepe gehabt haben, die Ausmalung der Kirche in den 1930er Jahren – fast unmittelbar mit der Machtergreifung durch die Nazis – fortzuführen. Pacher lieferte offenbar einen Entwurf zu einem Gesamtkunstwerk und damit nachweislich auch zu weiteren, großformatigen Schaubildern. Bis auf das ausgeführte Gemälde an der Ostwand hat sich von den Entwürfen nichts erhalten.



Bild 2 Detail aus dem Ostwandgemälde: Pastose Malerei unter der Gestaltung der Flügel

RIEPE scheint sich von diesem Entwurf ganz bewusst abzusetzen. Schon am Ostwandgemälde kommt es eindeutig zu Überarbeitungen an der Flügelgestaltung des Heiligen Michael, deren erste Anlage sich in Form pastoser Kalkmalerei unter der jetzigen Farbigkeit erhalten hat und die im Streiflicht gut erkennbar ist. RIEPE arbeitet auch in veränderter Technik: Die Vergoldungen fehlen vollständig und seine Malereien bleiben gegenüber denen an der Ostwand wasserlöslich. Die Analysen bestätigen den Gebrauch von Leimfarbe in den Malereien RIEPES.

RIEPE wendet sich in seiner Malerei vom großformatigen ab, hin zu einer eher sachlichen und stereotypen Gestaltung der Erzählungen der Bibel gleich einer Bilderge-



schichte mit „teppichartige[r]“ Wirkung [2]. Die Bewertung der Qualität RIEPES Malerei muss auch vor dem Hintergrund der veränderten politischen Gegebenheiten erfolgen. Die Beziehungen zwischen dem Osnabrücker Bischof BERNING und dem Projekt der Ausmalung der Kirche St. Joseph legen ein beredtes Zeugnis für die politischen Zwänge ab, denen auch die katholische Kirche und insbesondere die Person des Osnabrücker Bischofs in den Jahren der Machtergreifung unterworfen waren. So „verwarf [...] BERNING [...] in einem Schreiben vom 12. Juli 1933 [...] die PACHER Entwürfe“. Die Zeit, in der BERNING dies tut, gilt heute als die Phase, in der sich die Katholische Kirche in Deutschland mit dem Naziregime zu arrangieren suchte. BERNING wird just im selben Monat von HERMANN GÖRING zum Preußischen Staatsrat ernannt. Der Historiker RUDOLF VON THADDEN bezeichnet BERNINGS Haltung in der Anfangsphase der NS-Herrschaft als „für die „nationale Erneuerung“ aufgeschlossen“ [3]. Kann es also tatsächlich sein, dass sowohl die am Ostersonntag 1933 fertig gestellten Malereien als auch die weiteren Entwürfe PACHERS - von denen sich leider nichts erhalten hat - schon in dieser frühen Phase des Nationalsozialismus ein Gegenstand kontroverser Diskussion geworden waren und vielleicht aus eben diesen Gründen vorsichtshalber nicht weiter ausgeführt wurden? Der Pfarrer CRAMER von St. Joseph bittet noch im selben Monat, in dem der Bischof die ursprünglichen Entwürfe Pachers ablehnte darum, dass der Maler RIEPE neue Skizzen für die Ausmalung anfertigen soll.

„Anfang 1934 änderte BERNING seine Ansicht zum NS-Regime und äußerte sich in Predigten im Osnabrücker Dom zunehmend kritisch (siehe auch FRIEDRICH MURAWSKI [4]). Diese Entwicklung sieht HOLGER WILKEN als typisch für die kirchlichen Amtsträger in Deutschland“ [5]; sie deckt sich mit den allgemeinen Erkenntnissen des Kirchenhistorikers KLAUS SCHOLDER über 1934 als dem „Jahr der Ernüchterung“ [6]. Als hätte sich die veränderte Haltung des Bischofs unmittelbar auf die Projektierung der Ausmalung der Kirche ausgewirkt, wendet sich BERNING 1935 gegen RIEPES Entwürfe zur Ausmalung der Kirche. RIEPE wendet sich daraufhin hilfeschend an seine früheren Lehrer von der Kunstgewerbeschule in Hannover. Diese Inhaber auch politischer Ämter bestätigen die gute Qualität der Entwürfe RIEPES mit Bezügen zu GIOTTO [7].

Nach der Reinigung erstrahlen die Malereien an der Ostwand im alten Glanz. Die Bewertung dieser anspruchsvollen Malerei durch eine kunstgeschichtliche Aufarbeitung bleibt ein Desiderat der Forschung. POHLMANN schreibt: „So scheint Pacher der einzige gewesen zu sein, der zu seiner Zeit in das Weltuntergangsgeschehen die Greuel der apokalyptischen Reiter und die des apokalyptischen Tieres eingebracht hat.“ Dass es PACHER damit gelang, die Gräueltaten des Zweiten Weltkrieges auch für die Stadt Osnabrück vorauszuahnen, lässt die Ausmalung der Josephskirche zu einem geschichtlichen Zeugnis ersten Ranges werden.

## 2 Konservierungstechnische Fragen

Die Maltechnik an der Ostwand unterscheidet sich erheblich von derjenigen der übrigen bemalten Wände. Der Konzeptionswechsel zwischen dem ursprünglichen Entwurf PACHERS aus dem Jahre 1924 und dessen einzig erhaltenem Dokument, der Ausmalung mit dem Jüngsten Gericht an der Ostwand und der späteren Ausmalung RIEPES drückt sich nicht allein in der Form aus – er lässt sich auch materialtechnisch dokumentieren. Hieraus entspringen auch konservierungstechnisch differenzierte Fragestellungen. Während die Malerei an der Ostwand nahezu durchgehend in wasserfester, mineralischer Technik gemalt wurde, sind die glutinleimgebundenen Farben, die im übrigen Kirchenraum Verwendung fanden, wasserlöslich. Es fehlt den Leimfarben die Alkalität der an der östlichen Abschlusswand verwendeten Kalk- bzw. Wasserglasfarben. Somit zeigen die Leimfarben, die vorzugsweise bei der Ausmalung von Langhausdecken und Wänden, Kuppel und Scheitelbögen Verwendung fanden eine hohe Anfälligkeit gegenüber Schimmelpilzbildung.



Bild 3 Pastose mineralische Malerei an der Ostwand

Im Zeitraum zwischen November 2004 und Oktober 2006 erfolgten durchgehende Außen- und Raumklimamessungen im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Münster. Es konnte seinerzeit ein inaktiver Befall mit *Aspergillus glaucus* an der Altarrückwand und den Wandflächen festgestellt werden. Als Ursache wurde die schlechte Be- und Entlüftung des Kirchenraumes identifiziert. Weitere naturwissenschaftliche Analysen wurden ab 2007 von Frau Prof. Dr. PETERSEN und den Studenten aus dem Fachbereich der Konservierung/Restaurierung der HAWK Hildesheim durchgeführt.

Mit Beginn der Restaurierungsarbeiten wurden verschiedene Konzepte zum Erhalt der Malereien des Kirchenraumes diskutiert. Mit der angestrebten Verkleinerung des Kircheninnenraumes durch den Einbau des Gemeindezentrums stellte sich

zunächst ein allein hypothetisches Problem: Wie würde der „schlafende“ Schimmelpilz reagieren? Durch die Einbindung der DBU sollten vor allem umweltverträgliche Lösungen entwickelt werden. Der Einbau einer neuen Heizung musste ohnehin erfolgen, so dass mit dem Abbau der in den 1970er Jahren eingebauten und 1992 überholten Heizung eine Hauptquelle für die Schäden an der Malerei eliminiert werden sollte.

Als eine der Hauptquellen für Schimmelpilzwachstum war die Dispersionsfarbe an den monochromen Raumwänden identifiziert worden. Während der vormals gestrichene Kalkanstrich an den Kircheninnenwänden vollständig wasserdampfdurchlässig war, hatte eine Maßnahme aus den frühen 1990er Jahren die verputzten Kirchenwände mit einem Dispersionsfarbenanstrich versehen. Damit war den Wänden jegliche puffernde Funktion durch die Einschränkung der Aufnahme von Wasserdampf genommen worden. Erschwerend hinzu kamen die Dämmung des Dachraumes und der Verschluss ehemaliger Lüftungslöcher in der Kuppel. BUTT zieht in seiner Voruntersuchung zur anstehenden Konservierung des Kirchenraumes 2012 den Schluss, dass durch die Dämmung des Dachraumes einerseits zwar eine Taupunktunterschreitung verhindert würde, gleichzeitig aber die mangelnde Belüftung maßgeblich zur Besiedlung beitrüge. [8]

Für weitere, „menschengemachte“ Beschädigungen der Malereien wurde die unmittelbare Nähe der Kirche zum Industriegebiet Fledder verantwortlich gemacht. Die Nähe zu Industrieanlagen und damit verbundenen Abgasen, der Autoverkehr und dessen Emissionen sowie die Lage in einem Tieffliegergebiet sind in der Vorbereitung zur Einbindung der DBU genannt worden.

Frühe, kriegsbedingte Schäden an der Malerei durch Schäden an der Dacheindeckung und damit einhergehend eindringendem Wasser waren nach dem Zweiten Weltkrieg durch RIEPE selbst ausgebessert worden. Auch hierzu benutzte der Maler glutinleimgebundene Farben.

Neben dem Befall mit Schimmelpilzen und der durchgehend starken Verschmutzung zeigten die Malereien 2012 teils schwach gebundene und teils abgeriebene Pigmente. Es kam insbesondere an den unteren Bereichen der in die Quertonnen gemalten Malereien zu starken Malschichtverlusten und senkrechten Läuferspuren durch eindringende Feuchtigkeit. An zahlreichen Stellen zeigten sich ältere, teils unsachgemäß ausgeführte Putzergänzungen und partielle Reparaturen. In der Umfassung älterer Wasserschäden zeigten sich weiße Salzausblühungen und mürbe Putze. Mit der Verkleinerung des Kirchenraumes durch den Einbau des Gemeindezentrums wurde die Ausführung von Konservierungsmaßnahmen möglich.

### 3 Konservierung der Malereien

Für die Behandlung des Schimmelpilzbefalls wurden mehrere Szenarien durchgespielt: Eine Behandlung mit einem Biozid hätte erfolgen können – die Wirkmechanismen verschiedener Materialien waren im Vorfeld von den zuständigen Wissenschaftlern erprobt und getestet worden. Man entschied sich jedoch gegen den flächendeckenden Einsatz eines Fungizids, da man zunächst alle anderen Möglichkeiten wie die Verbesserung der Heizung und der Entlüftung optimieren wollte.

Zunächst wurde die Dispersionsfarbe von den Wänden durch die Mitarbeiter der Fa. EICHHOLZ, Bad Laer entfernt. Hier entschied man sich für eine Entfernung der aufliegenden Farbe im Strappo-Verfahren, um den Einsatz gesundheitsschädlicher chemischer Entlacker zu vermeiden. Dazu wurden die Wände mit Glutinleim Kalkkasein eingestrichen und ein Nesselgewebe in den Leim eingebettet. Nach der Durchtrocknung des Leimes konnte das Nesselgewebe mitsamt der obersten Farbschicht sowie vereinzelt Putzanhaftungen abgezogen werden. Nachfolgend wurden die Wände mit reinem Sumpfkalkmörtel neu verputzt und mit Sumpfkalkfarbe gestrichen. Auf den Einsatz konfektionierter und damit durch Kunststoffzugaben verarbeitungsoptimierter Fertigprodukte wurde bewusst verzichtet, da man durch die Zugabe entsprechender Additive eine erneute Herabsetzung der Wasserdampfdiffusionsfähigkeit befürchten musste.

Zur Verbesserung der Entlüftung des Kirchenraumes waren im Chor gesteuerte Klappfenster installiert worden. Durch die Verbindung mit dem Raumklimasystem sollen Feuchtigkeitsspitzen in den Raumluftdiagrammen durch kontrollierte Querlüftung verhindert werden. Mit dem Einbau eines neuen Heizungssystems in Verbindung mit einer geregelten Entlüftung versprach man sich seinerzeit, das Problem des „schlafenden“ Schimmelpilzes in den Griff zu kriegen. Das damals gerade beginnende Monitoring über die Messfühler auf der Malerei sollte hierzu zwar keinen Befall verhindern können – man hoffte aber durch das Monitoring unmittelbar in die Heizzyklen eingreifen und gegebenenfalls nachjustieren zu können.

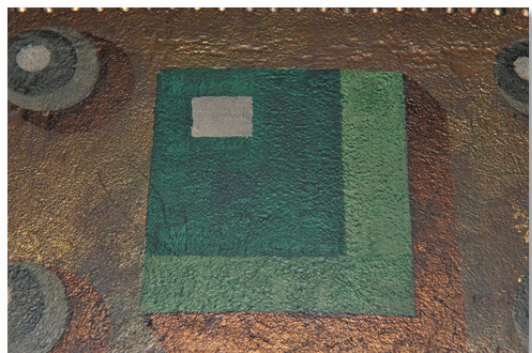


Bild 4 Gelüsterte Metalloberfläche am Chorwandbild

Die Malerei wurde durch Restauratoren der Fa. EICHHOLZ umfassend gereinigt und durch eine Behandlung mit Isopropanol desinfiziert. Zur Konservierung wurden ausschließlich erprobte und gegen einen Schimmelpilzbefall möglichst unempfindliche Materialien eingesetzt. Die Festigung der Malerei erfolgte beispielsweise durch den Einsatz einer in Ethanol gelösten Methylcellulose. Mit dem gleichen Material fanden vereinzelt auch Retuschen statt.

Die restauratorische Instandsetzung von besonders geschädigten Partien der Malerei erfolgte im Jahr 2015 in enger Abstimmung mit dem Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege in Person Frau Dr. KLEINS. Die Leitung und Koordination der restauratorischen Arbeiten hatte erneut Frau MALGORZATA EICHHOLZ-MAJ inne. Im Jahr 2015 konnten die restauratorischen Arbeiten in St. Joseph abgeschlossen werden.

## 4 Literatur

- [1] POHLMANN, REIMUND: *Die Sankt-Josephs-Kirche in Osnabrück*, Magisterarbeit (Osnabrück) 1984.
- [2] RIEPE IN EINEM SCHREIBEN VOM 28.06.1933, IN: POHLMANN, S. 105.
- [3] THADDEN, RUDOLF VON: *Die Geschichte der Kirchen und Konfessionen*. In: WOLFGANG NEUGEBAUER (Hrsg.): *Handbuch der Preußischen Geschichte. Bd. 3: Vom Kaiserreich zum 20. Jahrhundert und Große Themen der Geschichte Preußens*. Berlin/New York 2000, S. 690.
- [4] [https://de.wikipedia.org/wiki/Friedrich\\_Murawski](https://de.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Murawski) am 27.10.2016, 19:45 Uhr.
- [5] WILKEN, HOLGER: *Rezension zu: KLEMENS-AUGUST RECKER: Bischof Berning im Dritten Reich*. 1998. In: *Zeitschrift des Vereins für Hamburgische Geschichte*. Bd. 84, 1998, S. 241.
- [6] [https://de.wikipedia.org/wiki/Hermann\\_Wilhelm\\_Berning](https://de.wikipedia.org/wiki/Hermann_Wilhelm_Berning) am 27.10.2016, 17:55 Uhr.
- [7] POHLMANN, S. 98.
- [8] BUTT: *Kath. Pfarrkirche St. Joseph in Osnabrück*, Restauratorischer Untersuchungsbericht, Lübeck 2012, S. 14, nicht publiziert.

# Zielsetzung des Vorhabens und innovativer Projektansatz zur langfristigen Sicherung der Wand- und Deckenmalerei

*Prof. Harald Garrecht, MOCult, IWB – Universität Stuttgart*

**Abstract:** Im DBU-Vorhaben „Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke – Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück“ [1] wurde ein ganzheitliches Konzept zur Intensivierung der Nutzung einer denkmalgeschützten Großkirche in seiner Umsetzung begleitet. Ziel war es zu untersuchen, inwieweit ein neues Raumkonzept und die zugehörigen raumluftechnischen Maßnahmen dazu beitragen, dass historische Wand- und Deckenmalereien weniger gefährdet sind und mit welchen Mess- und Regelkonzepten ein Betrieb der technischen Anlagen nicht nur zu einer energieeffizienten Raumerwärmung und Raumbelüftung führt, sondern auch einen denkmalgerechten Erhalt wertvoller Raumfassungen und Ausstattung sicherstellen.

## 1 Einleitung

Durch sich stetig verändernde gesellschaftliche Strukturen kommen neuartige Aufgaben auf Kirchengemeinden im Zuge sich wandelnder Bedürfnisse und Anforderungen ihrer Gemeindemitglieder zu. So sind Kirchengemeinden vielfach bestrebt, sich vorbildhaft den gesellschaftspolitischen Herausforderungen eines ökologisch und ökonomisch bewussten Handels zu stellen. Trotz meist knapper Budgets wird von den Gemeinden versucht, einen Beitrag zur Minderung der voranschreitenden Klimaprobleme und des weltweit steigenden Ressourcenbedarfs zu leisten, um mit konsequentem Handeln Verantwortung für die nachhaltige Entwicklung von Gesellschaft und Umwelt zu übernehmen.

Doch nimmt die Zahl der Gemeindemitglieder in vielen Kirchengemeinden in den zurückliegenden Jahrzehnten stetig ab. Die in ihrer Erscheinung und Ausstattung meist beeindruckenden Kirchenräume lassen sich heute folglich nicht mehr in angemessener Form nutzen. So verlagert sich das Gemeindeleben von dem im Winter infolge hoher Heizkosten meist kalten Kirchenraum in die kleineren und angeneh-

mer temperierten Gemeindezentren. Das Interesse der Kirchengemeinden an einer Nutzung der nicht selten historisch bedeutsamen Kirchenbauwerke nimmt abgesehen touristischer Interessen immer häufiger ab. Aus energetischer Sicht kommt hinzu, dass es in großen alten Kirchenräumen kaum möglich ist, den Energieeinsatz für die Beheizung bzw. Temperierung deutlich zu senken. Schließlich steht der Effizienzforderung eine schlechte Wärmedämmwirkung alter Baukonstruktionen gegenüber.

Folglich werden neuartige Architekturkonzepte gesucht, mit denen alte Kirchenbauwerke einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Nutzung zugeführt werden können. Dabei muss den Bedürfnissen eines lebendigen und vielseitigen Gemeindelebens ebenso nachgekommen werden, wie den Erfordernissen einer liturgisch zeitgemäßen Nutzung des Kirchenraumes.

## 2 Energiebegriff im Architekturkonzept der Großkirche St. Joseph

Der Architekt Ulrich Recker [1, 2] entwickelte für St. Joseph ein Architekturkonzept, das den teilweisen Rückbau der bislang rein liturgisch genutzten Kirche vorsieht. Hierin wird in der Kirche Raum für eine profane Nutzung geschaffen. Ein neuer Raum, der der Kirchengemeinde eine ansprechende Intensivierung des Gemeindelebens innerhalb des Kirchenbauwerks bietet. Das Konzept sieht aber auch vor, im liturgisch genutzten Bereich der Kirche einen Raum für Konzentration, Besinnung und Ruhe zu schaffen. Bei all den Maßnahmen wird der ursprüngliche Architekturgedanken gewahrt und es werden die Forderungen der Denkmalpflege berücksichtigt.

Der innovative Ansatz des Architekturkonzeptes von Ulrich Recker ist die Schaffung eines „Raum im Raum“ auf Bauwerksebene und einer „Stadt in der Stadt“ auf Gemeindeebene. Diesen realisiert er mit einem Teilrückbau des westlich der Vierung gelegenen Bereichs der Kirche. Seinem Konzept liegen neben der Raumfrage aber auch die Wahrung und Sicherung der in der Kirche gebundenen Energie und Ressourcen zugrunde, die er in vier Stufen begründet sieht:

### 1. Stufe: Energie-Erhalt

Mit der Wiedererstarkung der Bedeutung des Kirchenbauwerkes als Gemeindequartier bleiben die zur Bauzeit aufgebrauchten Energien und verbauten Ressourcen erhalten.

### 2. Stufe: Energie-Plus

Zwar werden zu Umsetzung des Konzeptes neue Materialien und damit zusätzliche Ressourcen verbaut und für den Umbau, die Restaurierung und Modernisierung

werden neue Energien benötigt, doch sichert die Intensivierung der Kirchennutzung als Gemeindezentrum eine nachhaltige Nutzung der aufgewendeten Ressourcen und Energien.

### **3. Stufe: Energie-Vermeidung Rückbau**

Ohne weitere Nutzung des Kirchenbauwerks müsste ein Rückbau in Erwägung gezogen werden. Hierfür wären Energien aufzubringen. Nicht zuletzt würde auch die stoffliche Aufbereitung, Verwertung und Entsorgung die Ökobilanz des Gebäudes belasten.

### **4. Stufe: Energie-Vermeidung Neubau mit ggf. Landschaftsentzug**

Durch die weitere Nutzung der Kirche und Integration des Gemeindezentrums entfällt die Errichtung eines neuen Kirchenzentrums, für das ein Neubau erforderlich wäre, der Ressourcen, Energien und einen weiteren Flächenbedarf binden würde.

## **3 Informationen zum Bauwerk und zur Umgestaltung**

### **3.1 Das Bauwerk und seine Bedeutung**

Die Kirche St. Joseph in Osnabrück wurde als neuromanische, kreuzförmige Basilika in den Jahren 1913 bis 1917 nach Plänen des Architekten Albert Feldwisch-Drentrup erbaut. Die Kirche ist als dreischiffige Basilika mit einem Querschiff und einer ausgeschiedenen Vierung ausgebildet. Das Langhaus wie auch die Querschiffe sind tonnenüberwölbt. In der Vierung bildet eine große Kuppel den Raumabschluss zum Dach. Die Kirche ist die letzte neue erbaute Großkirche der Stadt und wurde im neuromanischen Stil errichtet, obgleich die meisten anderen Kirchenbauwerke im ausgehenden 20. Jahrhundert einen neugotischen Stil aufweisen.

### **3.2 Decken und Wandmalerei**

In den tonnengewölbten Querschiffen, im Chorraum und in der großen Kuppel wie auch in den darunter befindlichen Zwickel sind für den norddeutschen Raum einmalige flächendeckende Malereien in fresco/secco-Technik mit Szenen aus dem Alten und Neuen Testament zu finden. Die Arbeiten wurden vom Osnabrücker Maler Albert Emminghaus (1870–1932) nach den Plänen des Münchener Kunstprofessors Augustin Pacher (1863–1926) im Jahr 1932 begonnen und nach einem tödlichen Unfall von Emminghausen in den Jahren 1932–1942 vom Osnabrücker Kunstmaler Bernhard Riepe fertiggestellt.



### 3.3 Denkmalwert

In der Stellungnahme zum Denkmalwert des Niedersächsischen Landesamtes für Denkmalpflege in Oldenburg von Frau Wiebke Dreeßen wurde herausgestellt, dass das in Muschelkalkhaustein ausgeführte Erscheinungsbild durch sorgfältig gearbeitete Gliederungen und Architekturteile auffällt und einen reichen ornamentalen Schmuck aufweist. Dabei heben sich der Wandaufbau und die in Sandstein hergestellten Gliederungselemente mit kräftigen und klaren Formen von den verputzten Wandflächen ab.

Auch die Ausmalung weist Besonderheiten auf, so wurde die Chorrückwand von Pacher nach Konzepten des Jugendstils ausgemalt. Die späteren Arbeiten von Riepe weisen einen eher konventionellen neoromanischen Stil mit Bezügen zu italienischen Vorbildern und Anklängen an die Malereien Giotto auf.

### 3.4 Restaurierung und Konservierung

Die Kirche wurde gegen Ende des zweiten Weltkrieges durch Bomben beschädigt. Teilbereiche der Außenmauern und des Daches erlitten dabei schwere Zerstörungen. Auch die Vierungskuppel wurde von den Bombentreffern in Mitleidenschaft gezogen, die auch an den malereitragenden Fassungen zu Folgeschäden durch Wasserzutritt führten. Dennoch gehen die einzigen auf Ausbesserungen von Riepe zurück. Folglich blieben der Kirchenraum und die Malereien bis zu den jüngsten Umnutzungs-, Umbau- und Instandsetzungsarbeiten weitestgehend unverändert.

Auf Empfehlung des Generalvikariats des Bistums Osnabrück fasste die Kirchengemeinde den Beschluss, das Architekturkonzept von Recker umzusetzen. Im Zuge der baulichen Maßnahmen sollten dabei auch gleichzeitig die Malereien restauriert werden.

### 3.5 Bauliche Umsetzung und klimabedingte Beanspruchung der Malerei

In Bild 1 ist die Einbausituation des Gemeindezentrums in der Kirche in der linken Darstellung anhand der Tragkonstruktion der späteren Trennwand zu erkennen, die im fertigen Zustand auf der rechten Darstellung zu sehen ist. Der neue mehrgeschossige Einbau dient heute als Gemeindezentrum und bietet zahlreiche einladend gestaltete Räume unterschiedlichster Größe auf, die sich von der Kirchengemeinde in vielfältiger Weise nutzen lassen. Der Einbau des Gemeindezentrums in den Kirchenraum ist in leichter Bauweise realisiert. Alle an die Bestandsbauteile angrenzenden neuen Bauteile liegen ohne schädigende Verankerungen etc. an der

Raumschale an. Abgesehen der notwendigen Lastabtragung in den Baugrund, hier musste an wenigen Stellen ein Deckendurchbruch zum Keller vorgenommen werden, wurden keine Eingriffe in die originale Bausubstanz vorgenommen. Der Einbau lässt sich folglich jederzeit wieder zurückbauen, um den ursprünglichen Kirchenraum wieder herzustellen.

Wie in der alten Kirchen wurde zur Kirchentemperierung eine Warmluftheizung vorgesehen. Um eine feuchtekontrollierte Raumbelüftung vornehmen zu können, wurde die Heizung auch mit einer feuchtekontrollierten Zuführung von Außenluft ausgestattet.

Das neu eingebaute Gemeindezentrum wird mit einem konventionellen warmwasserführenden Heizsystem wärmeversorgt. Zudem sind im westlichen Bereich der Kirche, der durch Glaszwischenelemente oder opake Türelemente thermisch vom liturgisch genutzten Bereich der Kirche abgetrennt ist, in den Umgängen längs der Außenwandflächen unterhalb der Fensterflächen Plattenheizkörper installiert, mit denen den abfallenden Kaltluftmassen zur Vermeidung von Zugerscheinungen entgegengewirkt werden kann.

Um zu vermeiden, dass die erhaltenswerte Malerei in den Wand- und Deckenbereichen des nunmehr verkleinerten liturgisch nutzbaren Kirchenraumes durch die neue Raumsituation mit dem neuen Raumkonzept einer klimabedingten Beanspruchung unterworfen ist, wurde seitens des Architekten angeregt, das Klima in der Kirche zumindest in den ersten Jahren der neuartigen Nutzung zu beobachten. Zudem wurde unter Hinzuziehung des Verfassers darüber diskutiert, mit welchen ergänzenden Maßnahmen ein Beitrag zur Steigerung des energieeffizienten Betriebs der Kirche geleistet werden kann, schließlich baut das Architekturkonzept auf einem minimalem Energie- und Ressourceneinsatz über die gesamte Lebensdauer des Bauwerkes auf.

Klimabedingte Beanspruchungen der Malerei entstehen immer dann, wenn sich im Nahfeld der Malschichten sich mit zunehmender relativer Feuchte in den oberflächennahen Materialschichten von Malerei und darunter befindlicher Putze, Mörtel und Natursteine die im Gleichgewicht mit der umgebenen Raumluft einstellende Materialfeuchte, die sogenannte Sorptionsfeuchte, durch ständig verändernde Raumfeuchteverhältnisse zu- oder abnimmt. Mit der Feuchteänderung verbunden ist ein Formänderungsbestreben, das mit zunehmender Materialfeuchte zum Quellen und mit abnehmender Feuchte zum Schwinden führt. Dabei hängt die klimabedingte Beanspruchung der Malschichten maßgeblich von deren materialtechnischer Zusammensetzung, vom Verbund der Fassung mit dem Untergrund, von den vorherrschenden Temperatur- und Feuchteverhältnissen, von der Zusammensetzung und auch von der Dicke und Lagerung des Malschichtträgers ab, so dass eine Be-

wertung der Beanspruchung klimabedingter Formänderungen eine eingehende Analyse des Aufbaus der Malschicht voraussetzt [3].

Im Rahmen der restauratorischen Maßnahmen sollte auf Basis der Voruntersuchungen von Eike Dehn [2] vom Restaurator Josef Eichholz [2] die Reinigung und Restaurierung der Malerei vorgenommen werden. Mit Blick auf die komplexe Beurteilung der Zustandssituation der Malerei und den Fragen der künftigen raumklimatischen Anforderungen wie auch das zu ergreifende Konzept der Konservierung und Restaurierung geschädigter Bereiche wurde zudem Frau Dr. Dörthe Jakobs als Beraterin in das DBU-Vorhaben einbezogen [4].



Bild 1 links: Blick in den zum Gemeindezentrum umgestalteten Westteil der Kirche  
rechts: Blick in den liturgisch genutzten Bereich der Kirche vom Altar zum westlichen Abschluss an der Vierung zum DBU-Vorhaben [1]

## 4 Zum DBU-Vorhaben [1]

„Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke – Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück“

### 4.1 Zielsetzung

In dem bei der DBU beantragten und zum 22.10.2012 bewilligten Vorhaben soll am Beispiel der Kirche St. Joseph in Osnabrück die mit der Umsetzung neuartige Architektur- und Energiekonzepte einhergehende klimatische Veränderung im Nahfeld geschützter Decken- und Wandmalerei untersucht werden, um abhängig der gegebenen Beanspruchung und Gefährdung der Fassungen in interdisziplinärer Zusammenarbeit von Restaurierung, Denkmalpflege, Biologie, Materialkunde und Bauphysik gemeinsam mit Architekt und Fachplaner für die technische Gebäudeausrüs-

tung, der zuständigen Bauverwaltung sowie der Kirchengemeinde ein geeignetes gebäude- und anlagentechnisches Konzept zur präventiven Konservierung herauszuarbeiten. Hierzu ist die Kenntnis der komplexen Wechselwirkung zwischen Raumklima und Klima im Nahfeld der zu schützenden Fassungen zwingend erforderlich, um eine Bewertung der situationsbedingten Gefährdung vornehmen zu können und entsprechende Maßnahmen zur raumklimatischen Stabilisierung ergreifen zu können.

Doch sollte im Vorhaben nicht nur der Erhalt der Malerei im Fokus stehen, sondern es war auch zu berücksichtigen, neben den denkmalpflegerischen Forderungen eine bessere Komfortsituation in der Kirche im Sinne der avisierten Intensivierung der Kirchennutzung zu schaffen. Folglich sollte ein Konzept für den sowohl von der Nutzung der Kirche wie auch von der Beanspruchung der Malerei abhängigen Betrieb aller technischen Komponenten zur Optimierung der Raumluftverhältnisse entwickelt werden. Dabei sollte aber auch die effiziente Verwendung der zur Temperierung eingesetzten Energie berücksichtigt werden.

## 4.2 Energieeffizienzmaßnahmen

Um den für die Temperierung der Kirche erforderlichen Energieeinsatz soweit als möglich zu begrenzen, wurde zu Beginn des DBU-Vorhabens überlegt, die laufenden baulichen Maßnahmen der liturgischen Neugestaltung des Kirchenraums zu nutzen, um unterhalb des im Altarbereich neu zu verlegenden Natursteinbodens eine Fußbodenheizung einzulegen. Der Verfasser erwartete, dass es mit einer ergänzenden Implementierung einer Fußbodenheizung möglich sein sollte, die Grundlast für die Temperierung des Kirchenraumes übernehmen zu können. Vorteilhaft wäre, dass größere Temperaturschwankungen in der Raumtemperatur und damit auch im unmittelbaren Nahfeld der Malereien und die damit einhergehenden Feuchteschwankungen vermieden werden können, wie diese vielfach in Verbindung mit Luftheizungen infolge eines intermittierenden Betriebs verzeichnet werden können. Die Grundtemperierung mittels Fußbodenheizung sollte eine moderate Wärmeübergabe sicherstellen. Bekanntlich geben Flächenheizsysteme den größten Teil der Wärme in Form von Wärmestrahlung an den Raum ab. Doch ein Teil wird auch in Form der Konvektion abgeführt, indem sich die am warmen Boden vorbeigeführte Luft erwärmt und infolge der dabei abnehmenden Dichte in höhere Raumbereiche aufsteigt.

Grundsätzlich ist es in Fachkreisen strittig, ob sich in großvolumigen hohen Räumen mittels Fußbodenheizung eine günstige Raumtemperatur einstellen kann. Ingenieurmodelle sind nicht verfügbar, mit denen man diese Frage klären könnte. Vom Verfasser wurden bereits zwei Großkirchen (Kaiserdom zu Speyer mit 50.000 m<sup>3</sup>

Raumvolumen und Stadtkirche St. Michael in Weiden mit 23.000 m<sup>3</sup> Raumvolumen) untersucht, die mit einer Fußbodenheizung temperiert werden. So wurden einerseits jeweils CFD-Strömungsanalysen vorgenommen und die hiermit erzielten Berechnungsergebnisse mit messtechnischen Beobachtungen verglichen [5, 6]. In beiden Fällen erwies sich die Fußbodenheizung als durchaus geeignet, mit einem kontrollierten Betrieb der in mehrere Segmente unterteilten Flächenheizung die Raumluftverhältnisse so zu stabilisieren, dass die malereitragenden Oberflächen wie auch hölzerne und textile Einbauten und sonstige Ausstattungsgegenstände keinen klimabedingten Beanspruchungen mit Schädigungspotenzial durch den kontrollierten Betrieb der Temperierung unterworfen waren. Ob dies auch für St. Joseph zutrifft, sollte mit den Untersuchungen im DBU-Vorhaben geklärt werden.

Zudem war im Vorhaben angedacht, mit Bezugnahme auf das Architekturkonzept alle im Umfeld der Kirche St. Joseph verfügbaren Umweltenergien, die in Form solarthermischer Energien mittels Kollektoren im Umfeld gegebenenfalls gewinnbare Wärme über die Fußbodenheizung dem Raum zuzuführen. Für den Fall, dass die Wärme wegen fehlenden Wärmebedarfs nicht direkt genutzt werden kann, sollte die Wärme im Keller in thermische Energiespeicher zwischengespeichert werden. So finden sich in der Kellergeschossebene, in denen zahlreiche kleinere Speichereinheiten installiert werden könnten. Exemplarisch sollte daher an einem Modellspeicher mit dem DBU-Vorhaben gezeigt werden, dass z.B. in Verbindung mit Phasenwechselmaterialien als Speichermedium die während sonnenreicher Tage im Spätsommer und Herbst gewonnenen Energien nutzbar gemacht werden können, um bis in die kälteren Herbst- und Wintertage die Kirche über die Fußbodenheizung hiermit zu temperieren. Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungsergebnisse ist in [2] gegeben. Zu berücksichtigen ist zudem, dass mit der Entladung der Speicher in der kalten Jahreszeit die Speicher in den warmen Witterungsperioden mit der Fußbodenheizung genutzt werden können, um die Kirche auch während heißer Sommertage zu kühlen.

## 5 Durchgeführte Untersuchungen

### 5.1 Klimamonitoring

Zur Bewertung der klimabedingten Beanspruchung der Malerei wurde ein rechnergestütztes Monitoringsystem mit 122 Sensoren in der Kirche wie auch in den an den liturgischen Bereich angrenzenden Räumen installiert (Ausschnitt siehe linke Darstellung in Bild 3). Seit der Inbetriebnahme des Monitoringsystems werden die tages- und jahreszeitlichen Klimaverhältnisse, Oberflächentemperaturen, Energieverbräuche etc. kontinuierlich im Zyklus von 2 Minuten erfasst. Somit liegen die zeitveränderlichen Klimaverhältnisse für den Chorbereich, die Vierung, das Umfeld

des Altars und für die Orgel vor. Außerdem wurde an zahlreichen Stellen der bemalten Wand- und Deckenflächen das Nahfeldklima erfasst. Mit Hilfe dieser umfangreichen Daten kann nun geklärt werden, in welchem Maße klimabedingte Beanspruchungen zu steten behinderten Formänderungsbestrebungen infolge von Ad- und Desorption führen, die eine allmähliche Materialermüdung und eine resultierende Schädigung bewirken. Hierzu wurden die Oberflächentempersensoren wie auch die Sensorleitungen mit einer von Hans Hangleiter entwickelten und an historischen Objekten von Dörthe Jakobs [7] erfolgreich praktizierten und erprobten Methode mit Cyclododecan an den Malereien befestigt. Die Befestigung lässt sich nach Ende des Monitorings wieder rückstandslos entfernen (vgl. Bild 2 mitte und rechts).



Bild 2 links: Exemplarische Darstellung der Messstellen unmittelbar an der Nordwand  
 mitte: Aufnahme eines Sensorpaares (Oberflächentemperatur und Nahfeldklima aus Temperatur und relativer Feuchte)  
 rechts: Befestigung der Oberflächentempersensoren mit Cyclododecan

Zu prüfen ist aber auch, ob eine solch hohe relative Feuchte im Nahfeld der Malerei gegeben ist, so dass günstige Bedingungen für ein mikrobielles Wachstum vorherrschen. Das Monitoring soll aber auch Hinweise darüber geben, welche Auswirkungen der intermittierende Betrieb von Warmluftheizungen wie auch der kontinuierliche Betrieb von Fußbodenheizungen auf die klimatischen Verhältnisse in Kirchenräumen haben. Hierzu sollen nicht nur die Behaglichkeitsverhältnisse in der Kirche betrachtet werden, sondern auch untersucht werden, welche Auswirkungen der Heizbetrieb auf die klimabedingte Beanspruchung der Malerei hat [8].

Alle vom Monitoringsystem erfassten Daten werden in einer Datenbank abgespeichert und können über ein Visualisierungsportal im Web von den Projektbeteiligten eingesehen werden. Parallel wertet der Messrechner die Klimadaten aus. Abhängig des Bewertungsergebnisses kann der Messrechner zudem Handlungen zur Verbesserung der Raumluftverhältnisse auslösen, um z.B. bei Erfordernis die Raumluft durch das Öffnen der Fenster und die Zufuhr von Außenluft zu verbessern, Gleichmaßen können bedarfsgerecht die Ventile von Heizkreisen angesteuert werden.

Entsprechend dieser Möglichkeiten ist es Ziel des Klimamonitorings, nicht nur das Raumklima und die daraus resultierende Beanspruchung zu beobachten, sondern auch alle möglichen Maßnahmen unverzüglich einzuleiten, mit denen das Klima im geeigneten Klimakorridor gehalten werden kann, um die wertvolle Substanz zu schützen und gleichzeitig den Nutzerbedürfnissen bestmöglich nachzukommen.

Wird eine Beheizung des Kirchenraumes erforderlich, erfolgt eine notwendig werdende Raumbelüftung über die feuchtekontrollierte Belüftungsfunktion der Warmluftheizung. Demgegenüber wird im Sommer die kontrollierte Belüftung über den Messrechner des Klimamonitoring übernommen, über den die Fenster auf der Nord- und Südseite der Kirche gesteuert werden. Neben der Option, die Feuchtesituation im Kirchenraum durch die Zufuhr von Außenluftmassen zu steuern, kommt der Fensteraktivierung während der heißen Sommerphasen die Aufgabe zu, eine natürliche Querbelüftung während der kühlen Nachtstunden herbeizuführen. Bei der kontrollierten Sommerlüftung wird auch die Speicherwirkung der massiven Mauerwerksbauteile in den Wänden, den Gewölben und in der Kuppel berücksichtigt.

## 5.2 Untersuchungen zur Charakterisierung der klimabedingten Beanspruchungen der Malerei

Zur Bewertung der geeigneten Restaurierungsmaßnahmen wurden verschiedenste materialkundliche Analysen an Malschichten, am Malgrund und der darunter gelegenen Putze, Mörtel und Natursteine vorgenommen. Ferner wurde der Haftverbund zwischen Malschicht mit Malgrund untersucht. Des Weiteren war zu prüfen, ob die oberflächennahen Materialschichten der malereitragenden Wand- und Gewölbebereiche mit hygroskopischen und hydratstufenbildenden Salzen belastet sind. Schließlich führen dann sich an der Malerei um die Deliqueszenzfeuchte ändernde relative Feuchten im Nahfeld der salzbelasteten Oberfläche zu einem Phasenwechsel zwischen Kristallbildung und „in Lösung gehen“. Bilden die zu findenden Salze je nach relativer Feuchte gar unterschiedliche Hydratphasenwechsel durch, kommt es infolge von Expansionsbestrebungen beim Übergang in die feste Phase, bzw. dem Wechsel in eine wasserreichere Kristallphase bei nicht mehr verfügbarem Expansionsraum zu einer mechanischen Beanspruchung der Malerei, die zwangsläufig zur Schädigung führt. Erfreulicherweise wurden salzbeladene Bereiche auf den malereitragenden nicht festgestellt.

Einen wichtigen Schwerpunkt des DBU-Vorhabens bildete die Frage der biogenen Besiedelung. So wurden bereits in der Vergangenheit die Maleroberflächen von Pilzen befallen. Da Schimmelpilze aufgrund wachstumsbedingter Stoffwechselreaktionen eine Schädigung der Malerei bewirken können, wurden von Prof. Karin Pe-

terson untersucht [2]. Augenmerk wurde dabei darauf gelegt, inwieweit die bereits in der Vergangenheit an der Malerei festgestellten Schimmelpilze mittlerweile ein so dichtes Myzelgeflecht ausbilden konnten, dass dieses nunmehr die gesamte Malschicht durchdringt und somit auch schon in die tieferen Schichten des Malgrundes hineinwachsen konnte.

## 6 Ergebnisse zum Raumklimaverhalten mit und ohne Grundlasttemperierung durch ergänzende Fußbodenheizung im Altarbereich

Großes Interesse bestand bei der Auswertung der aufgezeichneten Klimamessdaten, welche Wirkung sich die im Altarbereich nachträglich installierte Fußbodenheizung auf die Raumluftverhältnisse in der Kirche auswirkt. Ein Vergleich der Raumluftverhältnisse bei einem weitestgehend synchronen Betrieb der Warmluftheizung mit der Fußbodenheizung zeigt die linke Darstellung in Bild 3.

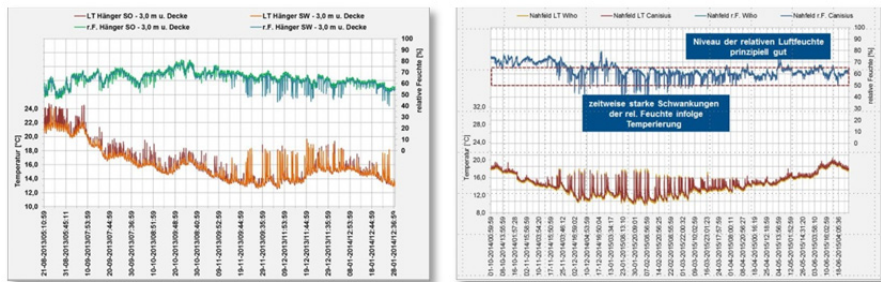


Bild 3 links: Verlauf von Raumtemperatur und relativer Feuchte in erster Heizperiode  
rechts: Verlauf des Nahfeldklimas in der zweiten Heizperiode nach Korrekturen des Regelbetriebs

Wird die Grundlastsicherung konsequent der Fußbodenheizung zur Grundlastsicherung übertragen, bedarf es nur noch bei intensiverer Nutzung der Kirche der bedarfsweisen Zuschaltung der Warmluftheizung. In der zweiten Winterperiode 2014/15 wurde zwischen Projektpartnern und Hersteller des Heizsystems vereinbart, dass die Fußbodenheizung die Grundlast übernehmen soll und nur noch bei Bedarf, z.B. während einer kirchlichen Nutzung zur Schaffung einer ausreichenden Behaglichkeit, die Heizung zugeschaltet wird.

Die Analyse verdeutlicht, dass die Fußbodenheizung den größten Anteil des Wärmebedarfs zur Grundlasttemperierung aufbringt. Die Zuschaltung der Warmluftheizung wird erst bei intensiverer Nutzung des Kirchenraumes erforderlich. Welche



Wirkung der Betrieb der Warmluftheizung auf das Nahfeldklima der Deckenmalerei ausübt, kann der rechten Darstellung in Bild 3 entnommen werden. Hier zeigt sich, dass mit der Inbetriebnahme der Heizung auch in den höhergelegenen Luftschichten und damit auch an der Malerei eine Erwärmung um 6 Kelvin erfolgt und gleichzeitig einen starken Abfall der relativen Feuchte um bis zu 20 % r.F. bedingt. Folglich bedarf es für einen gefahrungsfreien Betriebs von Heizsystemen einer von der Nahfeldklimasituation abhängigen Temperaturführung im Raum, um nur solche Temperaturanhebungsraten zu realisieren, die zu keiner Gefährdung der historische wertvollen Oberflächen auf der Raumschale wie auch der Ausstattung führen.

Grundsätzlich konnte somit im DBU-Vorhaben verdeutlicht werden, dass ein von der Beanspruchung wertvoller Oberflächen abhängiger Betrieb von Temperiersystemen realisiert werden kann. Aber dies nur dann, wenn eine direkte Kopplung einer Bewertung der Oberflächenbeanspruchung, die nur mittels Monitoring möglich ist, und einer rechnergestützten Bewertung der klimabedingten Beanspruchung, um die geeignete Regelstrategie für den Betrieb der verfügbaren Heiz- und Lüftungskomponenten ergreifen zu können. Zwar wurde im DBU-Vorhaben die Heizungssteuerung nicht vom Messrechner des Klimamonitorings aus vorgenommen, sondern blieb der speziell auf die Verhältnisse der Kirche St. Joseph hin realisierte Steuerung des Heizsystems überlassen, doch erfolgte ein steter Austausch der Projektbeteiligten mit den zuständigen Vertretern des Herstellers der Warmluftheizung. So konnte im Dialog und im wechselseitigen Erkenntnisaustausch die Steuerung der Warmluftheizung stetig entsprechend der mittels Monitoring gewonnenen Informationen zur Raumklimasituation sofern erforderlich angepasst werden. Bereits nach der ersten voll funktionsfähigen Heizperiode war so Anlagensteuerung der Heizung derart angepasst, dass nunmehr ein aufeinander abgestimmter Betrieb von Fußbodenheizung und Warmluftheizung sichergestellt ist und der Flächenheizung die Grundlastdeckung und der Warmluftheizung die Deckung des Wärmebedarfs während der intensiveren Nutzungsphasen übertragen wird.

Das Klimamonitoring kann sich folglich auf die Erfassung und Bewertung der Klimaverhältnisse im Kirchenraum wie auch im Nahfeld der Malerei konzentrieren. Zudem übernimmt das Klimamonitoring den zur Komfortsicherstellung und zur Erreichung geeigneter Klimaverhältnisse für die Malerei, die Ausstattung und die Orgel erforderlichen Betrieb des Öffnens und Schließens der Fenster. Ziel ist es hierbei, einerseits eine von der Raumluftfeuchte abhängige Belüftung in der Kirche zu gewährleisten und andererseits während der warmen Witterungsperioden die natürliche Querbelüftung zu nutzen, um das Temperaturniveau in der Kirche in den Nachtstunden abzusenken.

## 7 Danksagung

Der Verfasser dankt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Vorhabens, dessen Erkenntnisse sich auf zahlreiche weitere Objekte übertragen lassen. Ferner gilt der Dank allen Projektpartnern für die konstruktive und fruchtbare Zusammenarbeit. Der Dank richtet sich aber auch allen nicht in der Projektförderung berücksichtigten aber am Erfolg des Vorhabens maßgeblich beteiligten Unternehmen, die im offenen Dialog und mit großem Interesse stets das Vorhaben unterstützt haben.

## 8 Literatur

- [1] DBU-Vorhaben: Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke – Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück. AZ 30699, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Förderung 22.10. 2012 bis 21.10.2015.
- [2] Tagungsband: Abschlussveranstaltung zum DBU-Vorhaben AZ 30699, in Vorbereitung und Druck, 2016.
- [3] Garrecht, H., Reeb, S.: Neuartige Untersuchungsmethoden zur Erfassung der klimabedingten Beanspruchungen wertvoller Fassungsflächen am Beispiel der Schwindfresken auf der Wartburg. In: Wartburg-Jahrbuch 2010, Wartburg-Stiftung Eisenach, ISBN 978-3-7954-2553-1, S. 63–76, Eisenach, 2011.
- [4] Jakobs, D.: 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 M. Exner und U. Schädler-Saub (ICOMOS Hefte des Deutschen Nationalkomitees XXXVII), München 2002, S. 39–48.
- [5] Garrecht, H.: Raumklimatische Untersuchungen und bauphysikalische Konzepte. Forschungsergebnisse zur Klimaproblematik im Kloster Maulbronn und im Dom zu Speyer, In: [4], S. 8–18, 2006.
- [6] Garrecht, H., Reeb, S.: CFD-Simulation und Klimamonitoring – sich ergänzende Methoden zur Ausarbeitung von Maßnahmen zur Stabilisierung des Klimas in historischen Räumen, In: Tagungsband BauSIM 2008 – Nachhaltiges Bauen, Universität Kassel.

- [7] Jakobs, D.: Was bleibt? Was kommt? Heutige Konzepte und Desiderate der Forschung im Umgang mit feuchtebelasteten Räumen. In: Wandmalereien in Krypten, Grotten, Katakomben. Zur Konservierung gefasster Oberflächen in umweltgeschädigten Räumen (ICOMOS Hefte des Deutschen Nationalkomitees, Bd. LVI), Internat. Tagung des Deutschen Nationalkomitees von ICOMOS 2011, München 2013, S. 213–224.
- [8] WTA-Merkblatt 6-12: Klima und Klimastabilität in historischen Bauwerken, Ausgabe 07-2011/D, 2011.

# Restauratorische Arbeiten an der Raumschale

*Andreas Eichholz, Kirchenmalermeister und Restaurator*

**Abstract:** Restaurierungs- und Konservierungskonzepte und -techniken während der Restaurierung der Raumschale der kath. Kirche St. Joseph in Osnabrück. Kurze Zusammenfassung aufbauend auf der Dokumentation der Maßnahme

## 1 Übersicht

Die Konservierung der Raumschale kann in drei Arbeitsbereiche eingeteilt werden.

1. Die monochromen Putzflächen unterhalb der Frieszone sowie an den Süd- und Ostwänden des Querhauses.
2. Monochrom überfasste Malereien im Chor unterhalb der Gewölbetonne
3. Große, flächige Wandmalereien in der Vierungskuppel, den Querhausgewölben und in den Chorjochen.

Die Malereien können in den Pacher Entwurf an der Ostwand und die übrigen Riepe Malereien getrennt werden.

Im Folgenden soll auf die Schadensbilder, die Konservierungskonzepte sowie auf die ausgeführten Maßnahmen in den einzelnen Bereichen eingegangen werden. Die Malereien nehmen naturgemäß den größten Umfang und Stellenwert ein.

Aussagen zur Bau- und Objektgeschichte, zum Stellenwert und zur Ausführungstechnik der Malereien können hier aus Platzgründen nicht behandelt werden. Diese sind sicherlich an anderer Stelle des Tagungsbandes zu finden.

Außerdem sei an dieser Stelle auf die ausführliche Dokumentation samt Kartierung der Maßnahme hingewiesen.

## 2 Monochrome Putzflächen

### 2.1 Vorzustand

Die monochromen Putzflächen unterhalb der Frieszone sowie an den Süd- und Ostwänden des Querhauses wiesen folgenden Aufbau auf:

1. Kalkmörtel, nicht hydraulisch, relativ schwach gebunden
2. Gipsspachtelschicht unterschiedlicher Stärke, min. aber 2–3 mm
3. Sichtfassung leicht ocker getönt, filmbildend. Bindemittel Copolymerisat aus Vinylacetat und n-Butylacrylat. Zuschlag und Füllstoffe: Quarzsand, Cellulosefasern

### 2.2 Konzept und Restaurierungsmaßnahme

Im Rahmen des Gesamtkonzeptes zur Verbesserung des Klimas im Kirchenraum sollten die monochromen Flächen ohne darunterliegende Malereien wieder bauphysikalisch aktiviert werden. Dies geht nur über einen kapillargängigen Putz- und Anstrichaufbau aus Sumpfkalk.

Außerdem sollte die dafür notwendige Entschichtung ohne Chemikalieneinsatz wie Abbeizern o.ä. erfolgen.

Zunächst wurde eine Abnahme des filmbildenden Anstrichs und des Gipsspachtels mit Reisstärke versucht. Dies zeigte sich als nicht durchführbar.

Besseren Erfolg hatten wir mit Kaseinkompressen und eingebettetem Glasfasergebebe. Nach Trocknung konnte der filmbildende Anstrich mit großen Teilen des Gipsspachtels gelöst werden. Anschließend wurde mechanisch nachgereinigt, um auf den gesunden Kalkmörtel zu kommen.

Der folgende Aufbau war wie folgt:

1. Festigen des Untergrundes mehrmalig mit Kalksinterwasser bzw. stark verdünnter Kalkmilch
2. Aufziehen eines Filzputzes aus Luftkalkmörtel mit Sand 0–2 mm (Baustellenmischung). Bindemittel Sumpfkalk (Walhalle) 5jährig.
3. Freskaler Anstrich und anschließende secco Anstriche mit Altmannsteiner Kalk.

Im Gemeindeteil wurde auf eine Entfernung verzichtet, da hier ein durchgehend beheiztes Innenklima hergestellt wurde. Die Flächen der Raumschale wurden wie ursprünglich vorgesehen mit einer Dispersions-Silikatfarbe gefasst.

### 3 Monochrom überfasste Malereien

Im Bereich unterhalb der Frieszone der Chorjochs befindet sich noch die Malerei Riepes unter der filmbildenden Beschichtung aus Copolymerisatharz. Nach einigen Freilegungsfenstern zeigte sich, dass es wirtschaftlich nicht darstellbar ist, diese Flächen wieder sichtbar zu machen. Um bei späteren Maßnahmen dies zu ermöglichen, wurden diese Flächen mit Methylcellulose gebundener Leimfarbe im Farbton der Kirche überfasst.

Damit einer erneuten Besiedlung mit Mikroorganismen an dieser Stelle vorgebeugt wird, wurde die Leimfarbe zum Teil mit Zinkweiß pigmentiert.

### 4 Wandmalereien



Bild 1 Darstellung des Pfingstwunders in der Vierungskuppel

An anderer Stelle des Tagungsbandes wird ausführlich auf die Geschichte, die Maltechnik und den Stellenwert der Malereien eingegangen, so dass an dieser Stelle (verkürzt) auf die Schadensbilder und die durchgeführten Konservierungs- und

Restaurierungsmaßnahmen eingegangen wird. Ausdrücklich wird hier noch einmal auf die ausführliche Maßnahmendokumentation verwiesen.

Bei der Malerei von Riepe handelt es sich im Wesentlichen um eine glutinleimgebundene Malerei in sowohl deckenden als auch lasierenden Aufträgen. Teilweise ist als Lokaltön eine Kalkfassung zu finden.

## 4.1 Vorzustand der Malereien

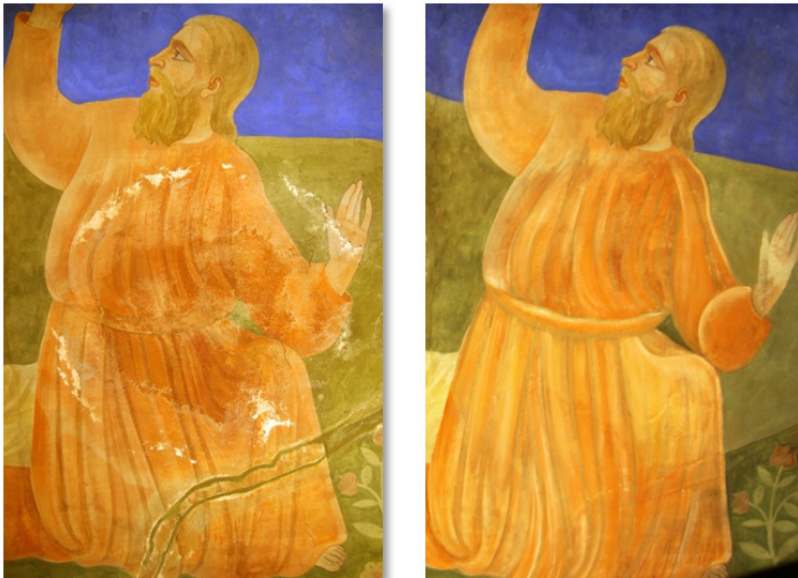


Bild 2 Chor, Deckengemälde Detail. Salzschaden und Riss vor und nach der Retusche

Zu Beginn der Oberflächenreinigung und Konservierung der Malereien in Chor, Vierung und Bögen präsentieren sich diese in einem Zustand, der zwar Schädigungen aufweist, insgesamt jedoch gut erhalten und weitgehend stabil ist. Auf den Oberflächen haben sich in unterschiedlichem Maße Staub und Ruß abgelagert. Bei näherer Betrachtung lassen sich vereinzelt stockfleckige Bereiche und Schimmelpilzbildung erkennen. Verglichen mit dem mikrobiellen Befall auf dem Dispersionsanstrich an den monochromen Wandflächen ist das Ausmaß der Besiedlung auf den Malereien deutlich geringer. Über große Flächen stellt sich die Malerei als unterbunden dar; die leimgebundene Malerei in Vierung, Zwickeln und Bögen kriedet flächig über einen gesamten Farbbereich. Dringender Handlungsbedarf zeigt sich in feuchtigkeitsgeschädigten Bereichen, in denen die Malschicht die Haftung zum Träger verloren hat und nicht selten blasenförmig aufsteht. Einige Risse, die

sich zumeist durch frühere Kittungen hindurch abzeichnen, durchziehen die Gemälde. Besonders augenfällig sind die hellen, durch Salzausblühungen hervorgerufenen Fehlstellen, die sich in der Kuppel und im Josephsbogen befinden.

## Verschmutzung

In den über 70 Jahren des Bestehens der Kirchengemälde wurden die Gemälde keiner flächigen Reinigung unterzogen. Die Auflagerungen sind im Wesentlichen altersgemäß und beziehen sich weitgehend auf den losen oder fester anhaftenden Staub sowie Ruß. Letzterer zeigt sich auf den Gemälden Riepes als relativ gering. Durch seine Position über dem Hauptaltar und unmittelbar im Luftstrom eines Heizungsgebläses ist das Gemälde an der Ostwand des Chores stärker von Verschmutzung betroffen. Das Gemälde zeigt trotz seiner glatten Oberfläche eine enorme Anhaftung von losen, hellen Partikeln. Diese sind teils fädig und durch die zum Zeitpunkt der Begutachtung bereits sehr fortgeschrittenen Umbaumaßnahmen in der Kirche mit einer hellen Feinstaubschicht überlagert. Inwieweit es sich bei den fädigen Auflagerungen um Pilzmyzele handelt, kann makroskopisch nicht geklärt werden.

Ebenso auf die Lage zurückzuführen sind die erheblichen Rußauflagerungen auf dem Pachergemälde, die das Bild über seine gesamte Fläche stark verdunkeln.

## Mikrobieller Befall

Aufmerksam auf eine mögliche mikrobielle Besiedlung machte vor Beginn der Baumaßnahmen in St. Joseph der deutliche Befall an den monochromen, mit Dispersionsfarbe gestrichenen Wänden. Ein enormer Schimmelpilzbefall lässt sich außerdem an der Rückseite des Hauptaltars feststellen. Maßgeblich hierfür ist sicherlich auch die Luftumwälzung durch die am Boden zwischen Ostwand und Altar befindlichen Austrittsschächte der Heizung. Im Zeitraum von Januar 2008 bis Februar 2012 erfolgten bereits Untersuchungen zur mikrobiellen Aktivität und der Wirksamkeit der Behandlungsmöglichkeiten an Hauptaltar und monochromen Wandflächen. Der als *Aspergillus glaucus* identifizierte Schimmelpilz gehört zu den xerophilen, d.h. trockenheitsliebenden Pilzen und benötigt aufgrund des geringen Wasseranspruchs kein Auftreten von Kondensfeuchte, um aktiviert zu werden.<sup>1</sup> Eine gleiche Besiedlungsdichte an den Wandmalereien wie auf den monochromen Flächen kann nach einer ersten Begutachtung ausgeschlossen werden.

Dennoch finden sich vereinzelt Kolonien.

1 Vgl. Untersuchungsbericht Fa. INTOX 2012, S. 7.



Meist haben diese ein stockfleckiges Erscheinungsbild und zeigen kein pelziges Myzel. Eine Häufung scheint es in den roten Farbbereichen zu geben. Auch im ockerfarbenen Hintergrund der Vierungskuppel sind zwei Bereiche stärker betroffen. Da es sich hier um gekittete und retuschierte Flächen handelt, scheint eine materialimmanente Ursache naheliegend.

Die Auflagerungen auf dem Gemälde „Das Jüngste Gericht“ wurden im vorherigen Abschnitt zur Verschmutzung bereits angesprochen und könnten erhebliche Anteile an Mikroorganismen in sich tragen. Durch den heizungsbedingten Luftstrom werden Staub und Mikroorganismen aus der Luft und von der stark befallenen Altarrückseite nach oben gewirbelt, wodurch auf dem Gemälde an der Ostwand eine flächendeckende Verunreinigung vorliegt. Nach der Abnahme dieser Schicht sind keine zusätzlichen Hinweise auf eine Besiedlung zu erkennen.



Bild 3 Nördliches Querhaus/Marienbogen, Darstellung: Jesu im Tempel, Vorzustand

### Kreidende Malschicht

Die verschiedenen Gemälde Riepes haben das Problem der kreidenden Malschicht gemeinsam. Während die Malerei in den figürlichen Darstellungen meist gut oder ausreichend gebunden ist, stellen sich die Hintergründe und Bodenflächen fast durchweg als unterbunden dar. Dies kann seine Ursache in einem von vornherein ungünstigen Malmaterial oder in einer fortgeschrittenen Bindemitteldegradation

haben. Letzteres wird durch das organische Bindemittel Glutinleim, welches auf Klimaschwankungen reagiert und als Nahrungsquelle für Mikroorganismen dienen kann, begünstigt.

Anders als die Gemälde Riepes zeigt das Pachergemälde an keiner Stelle Anzeichen einer kreidenden Malschicht. Abriebproben mit einem Spezial-Reinigungsschwamm aus Naturlatex (Wallmaster) bei denen sich Unmengen an Ruß, jedoch keinerlei Pigment im Schwamm wiederfanden, verdeutlichten die Geschlossenheit der Oberfläche.

### Feuchtigkeits- und Salzschäden

Nahezu alle ausgeprägten Beschädigungen an den Malereien lassen sich auf einen Feuchtigkeitseintrag zurückführen. In einigen Fällen äußert sich dieser in Salzausblühungen, die sich kreisförmig ausbreiteten und so einen hellen Ring aus pulverförmigen Salzablagerungen auf der Malerei hinterließen. An den unteren Feldern der Bögen in den Querhäusern lassen sich helle Spuren von Kondenswasser erkennen, welches beim Herunterrinnen Pigmente aus der Malschicht löste. Im Umfeld kam es zu erheblichen Feuchtigkeitsschäden in Form von Blasenbildung und in der Folge zu erheblichem Substanzverlust. Die meisten Blasen präsentieren sich heute weit abstehend und zur Mitte hin aufgebrochen. Ähnliches lässt sich in den Zwickeln erkennen, die über jeweils ein Belüftungsrohr verfügen. Unterhalb der Rohre bildeten sich bei drei Zwickeln hohlliegende Bereiche. Die sehr kleinen Blasen reagieren ausgesprochen empfindlich auf Luftdruck und Berührung. So ist es fast verwunderlich, dass es in den dortigen Bereichen nicht zu einem größeren Substanzverlust kam. An den Rohren ist heute kein Luftzug zu bemerken. Vermutlich wurden die Belüftungsrohre in den Zwickeln rückseitig verschlossen, wodurch die Gefahr der weiteren Feuchtigkeitsbelastung für die Malerei durch die Rohre begrenzt ist.

Aufgrund von dauerhafter Infiltration von Feuchtigkeit zeichnen sich in der Kuppel im Kleid einer Figur die unter dem Putz befindlichen Ziegel in hellen Fehlstellen ab. Um die Fehlstellen herum hat die Malschicht die Haftung zum Träger verloren, die entstandenen kleinen „Malschichtpusteln“ drohen bei kleinster Einwirkung herabzufallen.

Die markantesten Schadstellen finden sich am Übergang zur Wandfläche im Tonnengewölbe des Josephsbogens. Hier zeigen sich zwei Fehlstellen von ca. 120 x 30 cm und ca. 250 x 50 cm Größe. Wie Butt nach einer Befragung des Küsters erläutert, sind diese Schäden auf die Versottung des Schornsteins, nach dem Optimieren der Heizungsanlage, zurückzuführen. „Die über den Schornstein entweichende Luft ist in dem Schornstein kondensiert. Nachdem die Schäden sichtbar wurden, wurde in den Schornsteinschacht ein Aluminiumrohr eingezogen, um die

Kondensation und den damit verbundenen Feuchtigkeitseintrag in das Mauerwerk zu verhindern.“ Entlang einiger Risse zeigt sich stellenweise eine Salzkruste, die durch langanhaltend austretendes Wasser entstanden ist.

Insbesondere in der Vierungskuppel zeichnet sich das Fugennetz des Ziegelmauerwerks dunkel ab. Ursächlich hierfür ist womöglich ebenfalls im Mauerwerk enthaltene Feuchtigkeit.

Glücklicherweise blieb „Das Jüngste Gericht“ bisher von großen Salzausblühungen verschont. Laufspuren am linken Bildrand zeugen jedoch von einem Feuchtigkeitseintrag oder starker Kondenswasserbildung. In der Folge liegen große Partien der Malerei hohl. Weiter unten ist die originale Malschicht entlang eines Risses verloren. In deutlich geringerer Dimension lässt sich ein ähnliches Schadensbild auch auf der gegenüberliegenden Seite beobachten. Dennoch ist die Belastung des Gemäldes an der Ostwand als gering einzuordnen und die Stabilität der Malschicht gibt Hoffnung, dass sich die hohl liegenden Bereiche gut niederlegen bzw. hinterfüllen lassen.

## Rissbildung

In den Malereien zeichnen sich einige Risse ab. Die größeren von ihnen verlaufen fast ausschließlich entlang der früheren Risslinien von Altergänzungen. Ursächlich für die Risse ist m.E. die Setzung der Bausubstanz, d.h. es liegt eine statische Ursache vor. Sie treten am auffälligsten in den drei zentralen Deckengemälden des Chorbereichs auf. Auch im Marienbogen findet sich im mittigen Feld ein ausgeprägter Riss. Ein durchgehender Riss teilt die Vierungskuppel vom Zentrum im Bereich des Hintergrundes in zwei Hälften. Ferner durchziehen Risse mittlerer und kleiner Größe mit festen Flanken die Malereien aller Wände. Nicht in den Kartierungen aufgeführt sind feinste Craquelésrisse, deren ganzheitliche Aufnahme einen erheblichen zeitlichen Mehraufwand bedeutet hätte.

Verfärbungen zeigen sich in sehr geringem Maße und überwiegend dort, wo sich alte Retuschen befinden. Diese sind mit ihrer Alterung (weitgehend vermutlich in den 50ern durch Riepe selbst ausgeführt) stärker gedunkelt als das umliegende originale Material. Die Kittungen überlagern die umgebenden Bereiche großzügig und wurden mit sehr grobkörnigem Mörtel ausgeführt, wodurch sie sich heute, trotz recht guter farblicher Eingliederung, auch aus der Entfernung noch erkennen lassen.

Ein Bombeneinschlag machte überdies Reparaturmaßnahmen in der Vierungskuppel notwendig. Der Hintergrund der Gemälde im Chor wurde zudem in kräftigem Blau übermalt. Dies geschah vermutlich im Zuge der oben genannten Maßnahmen.

Ferner lassen sich auf den Riepegemälden etliche Verkrustungen finden, diese ähneln in ihrem Aussehen einer abgeschwächten Form der salzbedingten Blumenkohlkrusten. Sie treten vermehrt in feuchtigkeitsgeschädigten Bereichen auf und scheinen, obwohl sie über eine feste Haftung zum Träger verfügen, dort zu Abhebungen/Absprengungen der Malschicht zu führen. Eine genauere Untersuchung dieses Schadensphänomens konnte im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt werden.



Bild 4 Zustandskartierung am Beispiel der Vierungkuppel

Trotz eines vermutlich ölhaltigen Überzugs auf den Blattmetallauflagen, die sich auf dem Gemälde an der Ostwand befinden, ist das Metall durch Oxidation minimal angelaufen. Die mitunter schwer von beabsichtigten dunklen Lasuren zu unterscheidenden Oxidationen treten erfreulicherweise nur geringfügig auf. Die mit Eisennägeln in den Putz geschlagenen halbkugelförmigen Holzapplikationen haben einen ausreichenden Halt und geben, trotz eines zu verzeichnenden Verlustes dreier Holzperlen, keinen Anlass zu einer allgemeinen Behandlung.

## 4.2 Restaurierungskonzept

Zur Erarbeitung des Konservierungs- und Restaurierungskonzeptes wurden zahlreiche Proben und Versuche gemacht.

Ziel einer Konservierung bzw. Ziel der Gesamtmaßnahme war es unter anderem den Zustand der Malerei hinsichtlich der mikrobiellen Besiedelung langfristig zu verbessern ohne den Einsatz von Bioziden.

Dies kann nur durch eine entsprechende Konditionierung des Klimas nach der Maßnahme erfolgen.

Gleichwohl mussten die Konservierungsmaßnahmen zum einen wirtschaftlich darstellbar sein, zum anderen aber vor allem restaurierungsethischen Gesichtspunkten genügen.

## 4.3 Konservatorische Maßnahmen

Hinsichtlich der Reinigungsmethode, der Bekämpfung der mikrobiellen Besiedelung, des Festigungs- und Malbindemittels wurden verschiedene Probeflächen angelegt. Im folgendem werden die letztlich zur Ausführung gekommenen Methoden beschrieben:

### Malerei – Reinigung

Die Reinigung der Wandgemälde Riepes erfolgte mit Wallmaster-Schwämmen, weichen Ziegenhaarpinseln und einem Staubsauger mit HEPA 14-Filter. Die Reihenfolge war wie folgt: Marienbogen - Josephsbogen - Zwickel - Vierungskuppel. In den einzelnen Feldern wurde nach den durch die Malerei vorgegebenen Farbflächen und Formen gearbeitet. Zunächst erfolgte lediglich die Entfernung der sehr lose aufliegenden Verstaubung mit Ziegenhaarpinsel und Staubsauger. Hierbei konnte sogleich vorsichtig die Stabilität des zu reinigenden Abschnittes festgestellt werden. Nach der gegebenenfalls notwendigen Festigung erfolgte ein erneuter Reinigungsdurchgang, diesmal auch mit den Schwämmen. Eine Ausnahme stellen die stark kreidenden blauen Hintergründe dar, die auch nach der Festigung noch leicht abrießen. Sie wurden lediglich mit dem Pinsel abgefeigt.

Das „Jüngste Gericht“ wurde, nach dem Entfernen des losen Staubes mit Ziegenhaarpinsel und Staubsauger, mit Wish-Ab-Schwämmen gereinigt. Je nach Beschaffenheit und Schmutzgrad wurde vom strikten Tupfen etwas abgerückt und die Oberfläche auch in leicht kreisenden Bewegungen behandelt. Der Reinigungseffekt an der Ostwand ist enorm und zeigt das Gemälde nun wieder in seiner zuvor nicht sichtbaren strahlenden Farbgebung.

Insgesamt wird deutlich, dass die Malereien im Chorraum wesentlich stärker von öligen dunklen Verschmutzungen betroffen sind als der Rest der Ausmalung. Die Verschmutzungen im Chor rühren nicht nur von der Heizungssituation her, sondern auch vom verstärkten und ständigen Gebrauch von Kerzen.

### Malerei – Festigung

Für die flächige Festigung der kreidenden Malschicht kam wie im Konzept vorgesehen Klucel in 70 %igem Ethanol zum Einsatz. Allerdings erwies sich die angedachte Methodik, zunächst mit einer 2 %igen Lösung zu festigen und den Vorgang mit einer 4 %igen Lösung zu wiederholen, als in der Praxis sehr umständlich und schlecht durchführbar. Bei einem 4 %igen Gemisch äußerten sich Probleme mit dem Sprühgerät, dessen Düse durch die hohe Viskosität mehrfach verstopfte. Es erfolgte daher eine Festigung mit einem 2 bis 3 %igen Gemisch, das in stark kreidenden Bereichen bis zu fünf Mal aufgesprüht wurde. In der Regel reichte jedoch ein zwei- bis dreimaliges Wiederholen des Sprühvorgangs aus, um die Malschicht zu festigen.

Überlegungen, die aufstehende Malschicht im Josephsbogen vor der Festigung mit Japanpapier oder Cyclododecan zu sichern, scheiterten an der extremen Berührungsempfindlichkeit der gefährdeten Schollen. Bereits das Ausatmen konnte Belastung genug sein und die Schollen zerfallen lassen, an den Einsatz eines CCD-Sprays oder das Aufsetzen eines Pinsels war somit nicht zu denken. Der Eintrag des Festigungsmittels erfolgte berührungslos mit einer Spritze. Durch vorheriges Vornetzen mit einem Ethanol-Wasser-Gemisch wurde die Kapillarität soweit verbessert, dass sich das Festigungsmittel in die aufstehenden Schichten einsog und von selbst niederlegte.

Im „Jüngsten Gericht“ wurde die aufstehende Malschicht im Bereich der Blattmetallaufgabe im Nimbus Christi mit dem thermoplastischen Primal AC35 unter Verwendung eines Heizpachtels niedergelegt.

### Malerei – Behandlung mit pilzhemmendem Mittel

Bisher kam kein pilzhemmendes Mittel zum Einsatz, da die baulichen Änderungen eine dauerhafte Stabilisierung des Raumklimas versprechen. Ob dennoch ein Einsatz von Hemmstoffen zur Verhinderung weiteren Pilzwachstums notwendig wird, soll erst nach einem eingehenden Monitoring entschieden werden.



Bild 5 Jüngstes Gericht Vorzustand



Bild 6 Jüngstes Gericht nach der Restaurierung

## 4.4 Restauratorische Maßnahmen

### Malerei – Risssschließung/Kittung/Hinterfüllung

Wie im Konzept vorgesehen wurden die Risse zunächst mit CalXNova gefestigt und hinterfüllt. Für das Ausfüllen der teilweise sehr tiefen Fehlstellen wurde ein feiner

Kalkmörtel verwendet. Die Struktur der Kittung kommt der originalen Oberflächenstruktur sehr nahe, wodurch sich die Fehlstellen ausgesprochen gut in die Umgebung einfügen.

Der Riss im Gemälde der Ostwand und die umliegenden Blasen in der Malschicht wurden wie geplant zunächst mit Ludox PX30 vorgefestigt. Schwierigkeiten zeigten sich bei der Anwendung des Injektionsmörtels PLM-A, der zum Spritzen sehr dünnflüssig angesetzt werden musste. Der sehr langsam abbindende Mörtel musste demnach in mehreren Durchläufen gefestigt werden, wobei immer nur wenig Material eingebracht wurde, welches vor dem nächsten Eintrag zuvor trocknen musste.

### **Malerei – Retusche**

Die Retuschen wurden mit alkalibeständigen Erdfarben in Klucel E ausgeführt. Die blauen Bereiche wurden in Ultramarin retuschiert.

Im Sommer 2015 wurden in einer weiteren Maßnahme die jeweils unteren Teile der Malereien im Querhaus restauriert.

### **Malerei – Umgang mit alten Überarbeitungen**

Die alte Übermalung unter Niveau im Bereich des linken Risses an der Ostwand wurde zugunsten einer neuen, niveaugleichen Kittung und Retusche mit destilliertem Wasser abgenommen. Alle anderen älteren Überarbeitungen blieben bestehen.

## **5 Ausblick**

Die Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen sind nun nach einer 2015 im Nachgang ausgeführten Restaurierung einzelner Bereiche abgeschlossen.

Um sie dauerhaft im jetzigen Erscheinungsbild erhalten zu können, ist eine turnusmäßig wiederkehrende Beobachtung der Malereien notwendig.

Mögliche neue Besiedelungen durch Mikroorganismen bzw. vergrößern von vorhandenen Bereichen müssen frühzeitig erkannt werden.

Die entsprechende Konditionierung des Raumklimas spielt die entscheidende Rolle hinsichtlich des dauerhaften Erhalts der Malerei. Warmluftseen oder -glocken in der Vierungskuppel dürfen nicht entstehen, ebenso wie starke Schwankungen in Temperatur und Feuchtegehalt der Luft.

Durch eine kleinteilige Klimaüberwachung, welche durch die eingebaute Technik möglich ist, kann auf Veränderungen schnell reagiert werden. Es zeigte sich so zum



Beispiel, dass in der Vierungskuppel über eine effektive, situationsabhängige Lüftung mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten diskutiert werden sollte.

Gleichwohl handelt es sich um einen Kirchenraum, so dass bei jeder Änderung der klimatischen Verhältnisse nicht nur der Energieverbrauch sondern auch die Nutzbarkeit der Kirche für die Gemeinde als Andachts- und Gottesdienstraum Kriterium sein muss.

## 6 Literatur

- Butt, Britta/Hentze, Silke: Kath. Pfarrkirche St. Joseph in Osnabrück - Restauratorische Untersuchungen zum überlieferten Bestand von Bernhard Riepe, Konzeptentwicklung zur Konservierung, Restaurierung und Präsentation, unveröffentlichter Untersuchungsbericht von butt restaurierungen GmbH, Lübeck Februar 2012.
- Eichholz, Andreas/Wissing, Lena: Dokumentation über den Umbau und Sanierung sowie die Konservierung der Wand- und Deckenmalereien, Eichholz GmbH & Co. KG, Bad Laer 2014.
- Eichholz, Andreas/Wissing, Lena: Dokumentation über die Restaurierung der Wand- und Deckenmalereien in Teilen des Querhauses, Eichholz GmbH & Co. KG, Bad Laer 2014.
- Maier, Manuel: Bauerhaltung, Schimmel in Gebäuden, Diagnose einer Kirche mit Pilzbefall, unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Münster, Abteilung Bauingenieurwesen, 2005.
- Koller, Manfred: Wandmalerei der Neuzeit, in: Reclams Handbuch der Künstlerischen Techniken, Bd. 2, Wandmalerei/Mosaik, Stuttgart 1990, S. 213–398.
- Plogmann, Mareike: Neuromanik in Osnabrück: Die Kirche St. Joseph, unveröffentlichte Magisterarbeit an der Universität Osnabrück, Osnabrück 2008.
- Pohlmann, Reimund: Die Sankt Josephs Kirche in Osnabrück, Beispiel neuromanischen Kirchenbaus und katholischer Kirchenmalerei am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts, unveröffentlichte Magisterarbeit an der Universität Osnabrück, Fachbereich Kommunikation/Ästhetik, Osnabrück 1984.
- Riepe, Christian: Die Wandmalereien von Bernhard Riepe in St. Josef zu Osnabrück, Osnabrück 1976.

# Messen-Steuern-Regeln: Potenziale von Monitoring und Raumluftoptimierung zur präventiven Konservierung malerei-tragender Wand- und Deckenflächen

*Prof. Harald Garrecht, Simone Reeb, Christian Renner, Dana Ullmann,  
MOCult, IWB – Universität Stuttgart*

**Abstract:** Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojekts wurde ein Mess-, Steuer- und Regelkonzept für die Optimierung der Raumlufthverhältnisse in der Kirche St. Joseph entwickelt, umgesetzt und erprobt, das die Erfassung, Archivierung und Bewertung der klimatischen Verhältnisse und daraus resultierenden Beanspruchungen der Fassungen an der Raumschale und der Ausstattung in den liturgisch genutzten Raumbereichen der Kirche erlaubt. Im Focus des Klimamonitorings steht insbesondere die Erfassung der Nahfeldklimate an den Wand- und Deckenmalereien, aber auch im Bereich des hölzernen Altars. Die gewonnenen Daten ermöglichen einerseits eine Optimierung des Betriebs der Heizsysteme im Hinblick auf eine Schadensprävention bezüglich der Raumschale und der Ausstattung. Andererseits werden seit Inbetriebnahme des Messsystems die Messdaten allen Projektpartnern zur Verfügung gestellt, so dass die jeweiligen wissenschaftlichen Disziplinen die Möglichkeit haben, ihre jeweiligen Untersuchungsergebnisse in Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen im Kirchenraum zu stellen. Ein Abgleich der Zustandserfassung an den Malereien auf der Raumschale, am Altar, an der Orgel und an der sonstigen Ausstattung wurde somit ermöglicht. Vergleichbar vieler anderer historischer Bauwerke stellt die Erzielung stabiler Raumklimaverhältnisse in der Kirche St. Joseph die zentrale Herausforderung dar, um den Erhalt des wertvollen Bestands an Malfassungen auf den Wänden und Gewölben wie auch der Ausstattung sicherzustellen. Über das reine Klimamonitoring hinaus ist mit dem realisierten Mess- und Regelsystem aber auch die kontrollierte und bedarfsgerechte Steuerung verschiedenster Aktoren möglich. So werden derzeit mehrere Fenster in der Kirche zur Vermeidung einer übermäßigen sommerlichen Erwärmung wie auch zur Verbesserung der Raumlufthfeuchteverhältnisse über das MSR-System angesteuert. Mit dem nunmehr verfügbaren

MSR-System könnte bei Bedarf aber auch eine Einflussnahme oder gar Übernahme von Steuerungsaufgaben der vorhandenen Heizsysteme übernommen werden.

## 1 Einleitung

Da sich die Zahl der aktiven Mitglieder der Kirchengemeinde verringert hat, wird der große und beeindruckende Kirchenbau von der Gemeinde nicht mehr wie in den ersten Jahrzehnten nach der Errichtung des Bauwerkes genutzt. Das Gemeindeleben findet heute vielmehr im Gemeindezentrum statt, da sich hier die Bedürfnisse der Gemeinde meist besser realisieren lassen. Insbesondere während der kälteren Jahreszeiten kommt der Schaffung behaglicher Verhältnisse eine zentrale Bedeutung zu. Entgegen den Interessen der Touristen nimmt die Gemeindennutzung von großen Kirchenräumen ab. Konzepte werden daher von vielen Kirchengemeinden gesucht, die vorhandenen Kirchenbauwerke einer geeigneten Nutzung zuzuführen.

In St. Joseph wurde vom Architekten Ulrich Recker ein Architekturkonzept entwickelt, das den liturgischen Bereich des Kirchenraums verkleinert. Damit konnte er aber Platz für die Nutzung des frei gewordenen Raumes im Westbereich der Kirche schaffen, um hier ein Gemeindezentrum im Inneren des Bauwerkes zu errichten. Es handelt sich folglich um ein Haus-in-Hauskonzept. Der mittlere und östliche Teil der Kirche dient nunmehr einer liturgischen Nutzung und schafft damit den nötigen Raum für Konzentration, Besinnung und Ruhe. Der westliche Bereich beherbergt heute das Gemeindezentrum und sichert damit die Intensivierung der Nutzung der Kirche. Dieses neuartige Nutzungskonzept stellt dabei nicht nur Fragen zum liturgischen, konzeptionellen und bautechnischen Konzept. Vielmehr stehen auch die für Kirchengemeinden wichtigen Fragen der Energiekosten für den Gebäudebetrieb im Fokus der Betrachtung. Doch ist gerade mit Blick auf die erhaltenswerten Wand- und Deckenmalereien wie auch auf die Ausstattung des Kirchenraums die Sicherstellung von stabilen Raumklimaverhältnissen von größtem Interesse.

Am Beispiel der Kirche St. Joseph in Osnabrück sollten daher die Folgen der mit der Umsetzung des neuartigen Architekturkonzeptes für das Raumklima und die im Nahfeld der Decken- und Wandmalerei sich einstellenden Klimaverhältnisse eingehend analysiert werden, um hieraus die resultierende Beanspruchung der Fassungsoberflächen und der Ausstattung herauszuarbeiten. In Anbetracht der komplexen klimatischen Wechselwirkungen mussten im Rahmen des Forschungsprojektes folgende Arbeitsschritte umgesetzt werden:

- Entwicklung und Realisierung eines differenzierten Klima- und Energiemonitoringsystems
- Bewertung der Raumluftverhältnisse

- Planung und Realisierung einer automatischen Fensterlüftung zur Klimastabilisierung in der Kirche, die insbesondere während der wärmeren und damit heizfreien Witterungsperiode von größter Bedeutung ist.

Die so erarbeiteten Erkenntnisse sollten im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes genutzt werden, um mit der durch das Monitoring zur Verfügung stehenden MSR-Technik (Mess-, Steuer- und Regeltechnik) das Raumklima so zu stabilisieren und zu optimieren, dass ein künftiges Schadensrisiko für die Wand- und Deckenmalereien wie auch die Ausstattung minimal ist und gleichzeitig ein möglichst behagliches Klima erreicht werden kann.

## 2 Klimatechnische Systeme im Kirchenraum

Ein für alle Kirchenbauwerke gleichermaßen geeignetes Konzept für Beheizung bzw. Temperierung der Kirchen gibt es nicht und wird es in Anbetracht der Vielfalt unterschiedlicher Kirchenbauwerke mit ihren individuellen baulichen und anlagentechnischen Besonderheiten auch nicht geben. Jedoch werden nach Erfahrung der Verfasser Kirchen vielfach mit Warmluftheizungen beheizt. Warmluftheizungen sind grundsätzlich für die Beheizung großer Räume vergleichsweise gut zu betreiben, um die geforderte Klimastabilität zu erzielen. Jedoch muss die warme Luft an vielen Stellen in den Kirchenraum geleitet werden, um die Luftverwirbelungen und die Zuluftgeschwindigkeiten gering zu halten. Zusätzlich sollte die Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Raumluft möglichst gering sein, da sich nur dann ein „Warmluftsee“ am Boden ausbildet. Nachteil einer Warmluftheizung ist jedoch, dass die Erhöhung der gefühlten Temperatur nur durch die Anhebung der Lufttemperatur erfolgt. Daher kommt der Regelstrategie eine zentrale Rolle zu, da zu schnelles und zu starkes Aufheizen der Raumluft oft schädlich für die Raumschale und die Ausstattung einer Kirche ist. Warmluftheizungen sollten, wenn möglich mit Umluft betrieben werden, da die Erhöhung des Außenluftanteils zum einen zur Folge hat, dass die während der kälteren Monate bereits trockene Außenluft durch die Erwärmung zu einer Absenkung der relativen Feuchte im Kirchenraum führen kann. Zum anderen steigt der Wärmebedarf deutlich an. Im Gegensatz zu Warmluftheizungen, die dem Raum punktuell Wärme zuführen, erhöhen Fußbodenheizungen die Raumtemperatur auf großer Fläche. Zwar gehören Fußbodenheizungen zu den sog. trägen Heizsystemen, jedoch wirkt sich dies gerade in großvolumigen Kirchen mit Wand- und Deckenmalereien und/oder wertvoller Ausstattung sehr günstig aus, da sich somit die Forderung nach langsamen Temperaturveränderungen von selbst erfüllt. Weitere Vorteile von Fußbodenheizungen sind der hohe Strahlungsanteil, die homogene Temperaturschichtung im Raum und die Fußwärme, die die Behaglichkeit der Kirchenbesucher deutlich steigert.

Da in der Kirche St. Joseph umfassende Sanierungsarbeiten vorgesehen waren, konnte hier eine Kombination aus den beiden vorgestellten Heizsystemen realisiert werden. Um eine differenzierte Steuerung der Fußbodenheizung zu erlauben, wurde diese im Kirchenschiff in vier getrennt ansteuerbare Heizfelder aufgeteilt und zusätzlich im Bereich des Altars ein fünftes Heizfeld angeordnet. Dieses Heizfeld dient nicht nur der Erwärmung des Chorbereiches, sondern es trägt zur homogenen Temperaturverteilung über das Kirchenschiff und den Chor bei, so dass keine kalten Fallwinde entstehen können, die häufig zu unangenehmen Zugserscheinungen bei den Kirchenbesuchern führen und somit deren Wohlbefinden beeinträchtigen. Bild 1 zeigt schematisch die Aufteilung der Heizzonen der Fußbodenheizung und auch die im Estrich angebrachten Temperatursensoren, die im Rahmen des Monitorings Auskunft über den Betrieb der einzelnen Heizsegmente geben.

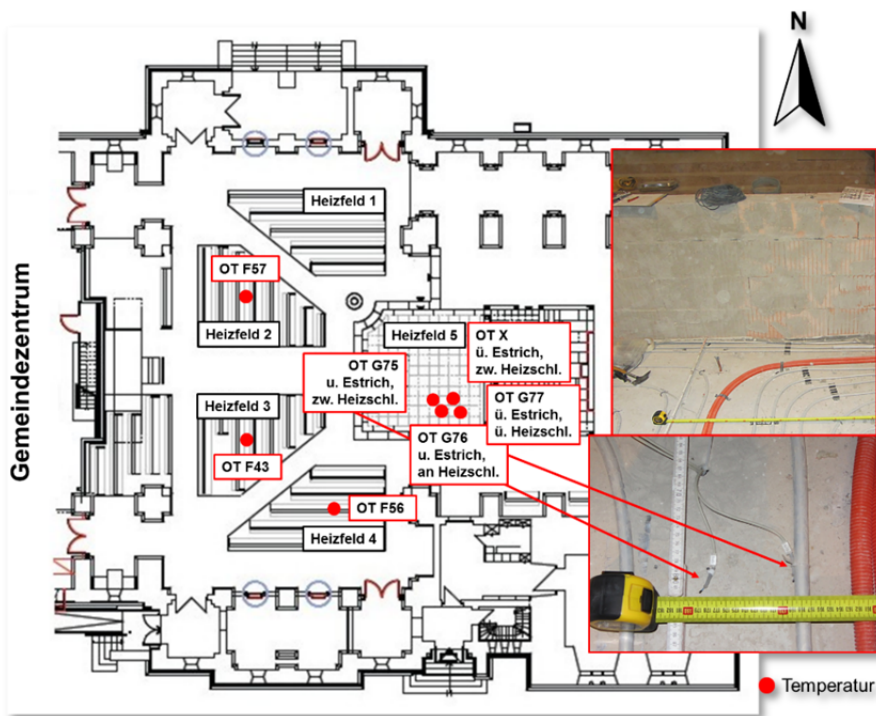


Bild 1 Erfassung der Temperaturen im Bereich der Fußbodenheizung

Sehr häufig konnte in der Vergangenheit von den Autoren beobachtet werden, dass in Kirchenräumen, sofern mehrere Heizsysteme vorhanden sind, die Warm-luftheizung für die Grundtemperierung eingesetzt wird und das zweite System, sei es eine Fußboden- oder Umluftheizung nur als Zusatztemperierung fungiert, wenn

die gewünschte Grund- und/oder Nutzungstemperatur nicht erreicht wird. Diese recht häufig in der Praxis vorkommende Grundregelstrategie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes dahingehend abgeändert, dass die Grundtemperatur in erster Linie durch das trägere System, der Fußbodenheizung, sichergestellt wird. Eine Unterstützung der Fußbodenheizung durch die Warmluftheizung ist nur in folgenden Fällen vorgesehen:

- Grundtemperatur kann durch Fußbodenheizung nicht erreicht werden
- Nutzung der Kirche.

Die Implementierung der Grundregelstrategie hinsichtlich der Nutzung der Heizsysteme und der Anordnung der Heizfelder der Fußbodenheizung sollte zu homogenen Temperaturverhältnissen im liturgisch genutzten Bereich des Kirchenbaus führen und reduziert damit auch die durch warmwasserführende Heizsysteme vorhandene Luftbewegung. Zu berücksichtigen ist aber, dass in Anbetracht des letzten gemeinsamen Spästermins festgestellt werden konnte, dass sich Staub und Schmutz auf den Oberflächen ablagern können, wie das bei einer Grundtemperierung über die Warmluftheizung der Fall wäre.

In Kirchenbauwerken besteht grundsätzlich das Problem, dass die gefühlte Temperatur nicht mit der tatsächlichen Lufttemperatur übereinstimmt, da sich diese zu gleichen Teilen aus der Lufttemperatur und den Oberflächentemperaturen der Raumhülle zusammensetzt. Kirchen stellen hier oft einen Extremfall dar, da die Außenwände nicht gedämmt und die Grundtemperatur im Raum, außerhalb der liturgischen Nutzung, oft bei nur 6°C–8°C liegt [1]. Wird dann für die liturgische Nutzung die Raumtemperatur auf 16°C (Heizrate von 1 K/h) aufgeheizt, hat dies nicht nur klimatische Schwankungen zur Folge, sondern führt zu einem erheblichen Temperaturunterschied zwischen der Raumluft und der Oberfläche der Raumschale. Das Aufheizen der Raumluft genügt in der Regel nicht, die oft massigen Wände von Kirchenbauwerken zu erwärmen, so dass die Oberflächentemperatur deutlich unterhalb der Raumtemperatur liegt. Der Besucher empfindet die Kirche daher als zu kalt und zugig, obwohl die Raumtemperatur 16°C beträgt.

In Bild 2 sind die im Rahmen des Forschungsprojektes mittels thermisch-hygrischer Simulation gewonnenen Ergebnisse der Entwicklung der Oberflächentemperatur unter der Annahme unterschiedlicher Außentemperaturen für die Kirche St. Joseph dargestellt.

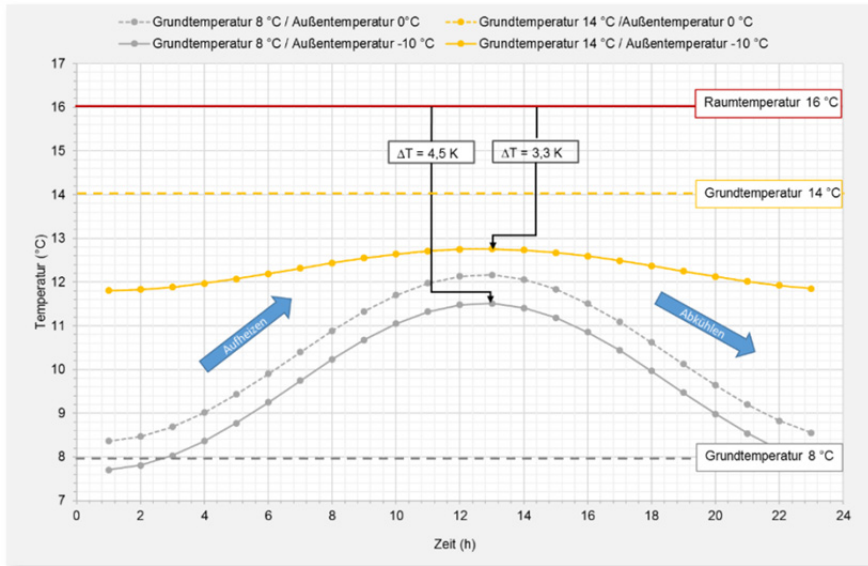


Bild 2 Simulationsberechnung zur Entwicklung der Oberflächentemperatur

Die Berechnungen zeigen wie zu erwarten war, dass sich bei einer Grundtemperierung von 14°C einerseits deutlich höhere Oberflächentemperaturen im Bereich der Außenwände einstellen und sich andererseits erheblich geringere thermisch induzierte Spannungen an der Raumhülle ausbilden.

Bild 3 zeigt die sich infolge der Beheizung einstellenden Raumklimata und der sich an der Außenwand des nördlichen Seitenschiffs ausbildenden Oberflächentemperaturen. Hier ist deutlich zu erkennen, dass sich bei einer Grundtemperatur von 14°C ähnliche Oberflächentemperaturen ausbilden, wie sie mit Hilfe der Simulationsberechnungen ermittelt wurden. Auch kann beobachtet werden, dass sich bei einer Reduzierung der Grundtemperatur auf 13°C immer noch Oberflächentemperaturen von ca. 12°C einstellen.

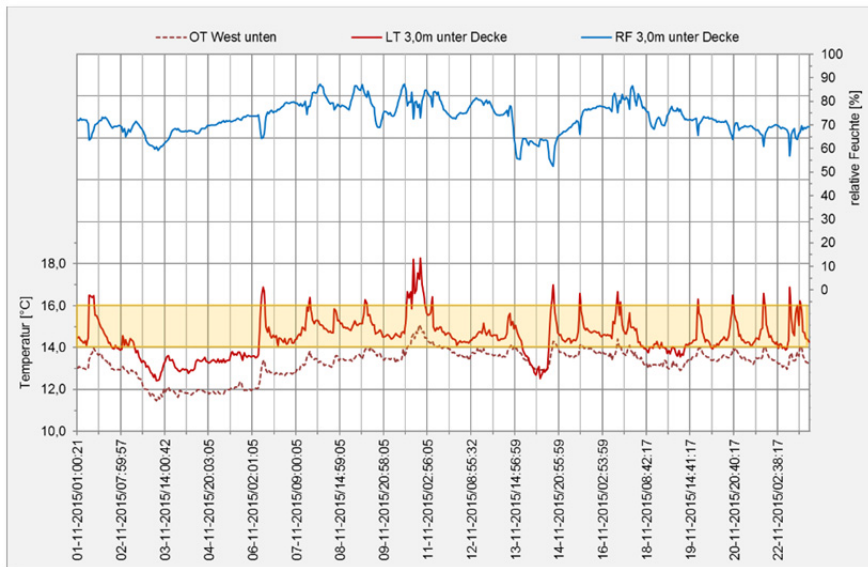


Bild 3 Raum- und Oberflächentemperaturen im nördlichen Seitenschiff der Kirche St. Joseph (01.–22. November 2015)

Auf Basis der thermisch-hygrischen Berechnungen und der über das Monitoring erfassten und bewerteten Messdaten konnte daher der Nutzerforderung einer höheren Behaglichkeit nachgekommen und eine Grundtemperatur von 14°C festgelegt werden. Hierbei stellte sich natürlich auch die Frage der Energieeffizienz. Überschlägige Berechnungen zeigen folgenden Zusammenhang:

- Faustregel aus dem Wohnungsbereich „Absenken der Mitteltemperatur um 1°C spart rund 6 % Energie“. Dieser Richtwert von 16°C ergibt sich aus der Differenz der üblichen Raumtemperatur von 21°C und einer mittleren Außentemperatur von 5°C. Wird also die Raumtemperatur um ein Grad abgesenkt, kann die Energieeinsparung mit rund 1/16 (6 %) abgeschätzt werden.
- Bei einer Kirche mit einer Grundtemperatur von 14°C ergibt sich ein Richtwert von 11°C. Dementsprechend ein Einsparpotenzial von 9 % bei einer Absenkung der Innenraumtemperatur um 1°C.

Die Berechnungen zeigen, wie zu erwarten, dass die Erhöhung der Grundtemperatur natürlich auch eine Erhöhung der Energiekosten nach sich zieht. Eine Reduzierung der Grundtemperatur auf 12°C würde den Energiebedarf um ca. 18 % senken, wobei die Oberflächentemperaturen der Außenwände nur geringfügig reduziert



würden. Auch die thermisch induzierten Spannungen an der Raumschale würden sich nur minimal erhöhen.

Aus bauphysikalischer Sicht ist eine Grundtemperierung von Kirchenräumen mit einer Temperatur von mindestens 12°C immer empfehlenswert, da die klimatischen Verhältnisse, während kälterer Witterungsperioden, durch die Beheizung auf die Nutzungstemperatur aufgrund des geringeren Temperaturunterschiedes weniger stark schwanken. Jedoch ist darauf zu achten, dass die Heizsysteme eine sog. Feuchtevorrangregelung, wie sie auch in der Kirche St. Joseph implementiert ist, besitzen. Diese Art der Regelung verhindert es, in der Regel durch das Ausschalten der Heizsysteme, dass die relative Raumluftfeuchte infolge der Temperierung auf Werte unterhalb von 45 % r.F. absinkt, so dass sich während kalter Witterungsperioden keine kritischen klimatischen Verhältnisse im Raum ausbilden. Eine Grundtemperatur von 12°C führt nicht nur für den Nutzer zu behaglicheren Raumklimaten, auch die Gefahr der Tauwasserbildung, der Feuchte- und Frostschäden wird deutlich reduziert.

Im Rahmen des Forschungsprojektes war es auch Ziel, die Fenster des Chorbereiches und die Fenster oberhalb der Orgel mit Fenstermotoren auszustatten, so dass bei zu hohen Raumluftfeuchten im Kirchenraum und günstigen Außenwitterungsverhältnissen die Fenster bei Bedarf über das etablierte MSR-System gesteuert werden können. Hierbei kommt dem Regelungskonzept eine zentrale Aufgabe zu. Die Belüftungsstrategie für St. Joseph musste daher zum einen die baulichen Gegebenheiten und zum anderen die klimatischen Verhältnisse in der Kirche als auch die Witterung außerhalb berücksichtigen.

Das in vielen historischen Gebäuden eingesetzte marktgängige Regelungskonzept basiert auf dem Vergleich der absoluten Feuchten im Raum und im Freien. Diese Art der Reglung der Belüftung weist folgende Problematiken auf:

- Regelung über die absolute Feuchte → Fenster werden geöffnet, wenn die absolute Feuchte außen geringer ist als in der Kirche → Klimastabilität in Bezug auf die relative Luftfeuchte in der Kirche, insbesondere im Nahfeld interessierender Bereich wird nicht als Regelungsgröße verwendet → Gefahr von Klimaschwankungen
- Betrieb der Lüftungsanlage nur bei Außentemperaturen oberhalb 6°C–8°C und unterhalb einer gewählten Grenztemperatur → während kühlerer Witterungsperioden ist eine Lüftung nicht möglich, obwohl sich eventuell relative Luftfeuchten im Kirchenraum einstellen, die zu hoch sind und die Witterungsbedingungen günstig wären
- Ermittlung der Taupunkttemperatur anhand von Raumklimadaten, Vergleich der Taupunkttemperatur mit der Lufttemperatur → Oberflächentemperaturen

können deutlich unterhalb der Raumtemperaturen liegen → Gefahr von Tauwasserausfall auf der Raumschale.

Aus den benannten Gründen wurde seitens der Autoren eine Regelstrategie entwickelt, die eine differenziertere Steuerung der Fensterbelüftung erlaubt. Im Unterschied zur herkömmlichen Regelung basiert diese Regelung auf den sich im Nahfeld der Malereien einstellenden Klimate. Hierbei werden in erster Linie die relativen Luftfeuchten und die Oberflächentemperaturen zur Bewertung der klimatischen Verhältnisse herangezogen. Bild 4 zeigt die unterschiedlichen Ergebnisse in Bezug auf die Regelgrößen und -strategien.

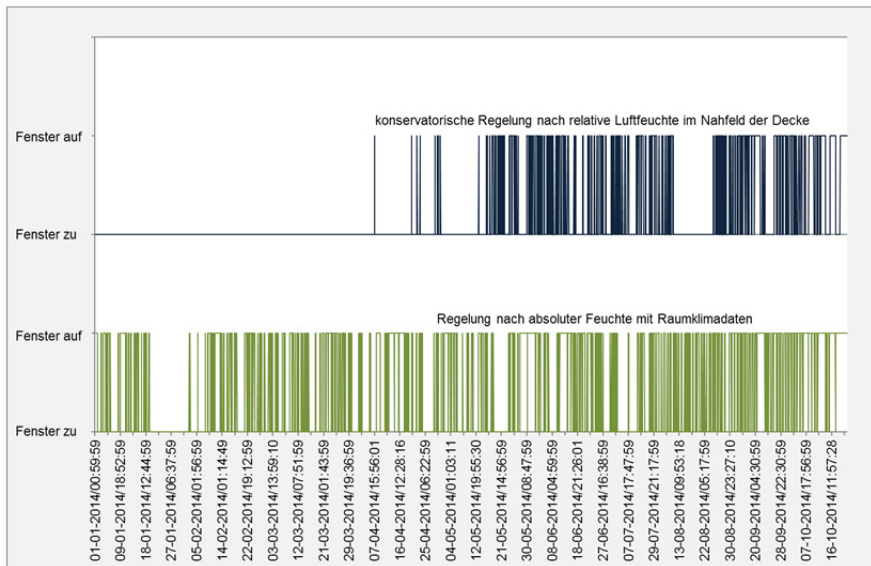


Bild 4 Gegenüberstellung der Regelstrategien - absolute Luftfeuchte marktüblich/relativer Luftfeuchte im Nahfeld der Deckenmalerei

Die konservatorische Regelung über die relative Luftfeuchte im Nahfeld der Malereien kann ist für die Kirche St. Joseph vereinfacht wie folgt beschrieben werden:

- Vergleich der relativen Luftfeuchte im Nahfeld der Malerei und Außen
- Ist die relative Luftfeuchte im Nahfeld in den vorgegebenen Schranken?
- Besteht Gefahr der Tauwasserbildung?

Zusätzlich zu diesen grundsätzlichen Bewertungen sind natürlich weitere Parameter wie Regen, Wind, Außentemperaturen usw. in den Regelalgorithmus eingebunden. Zusätzliche Regelparameter wie mögliche Salzphasenwechsel, Schimmelpilz-

aktivitäten usw. können problemlos, sofern diese bekannt sind, in die Regelstrategie eingebunden werden.

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung einer solchen Fensterlüftung wurde für die Kirche St. Joseph in die Regelstrategie eingebunden. Die Steuerung der Fenster wird in dieser Kirche nicht nur Stabilisierung der Raumklimasituation in Bezug auf die Nahfeldluftfeuchte genutzt, sondern sie dient auch während heißer Sommerphasen zur nächtlichen Querbelflüftung, um die Temperaturen im Kirchenraum so weit wie möglich zu reduzieren. So sollen Temperaturspitzen reduziert werden. Infolge dieser Anforderung mussten weitere Algorithmen in die Regelung implementiert werden, so dass zu den bereits in vereinfachter Form aufgezeigten Bewertungen/Abfragen noch die Außentemperatur der Raumtemperatur gegenübergestellt wird.

Grundsätzlich wurde bei allen Regelstrategien, die entwickelt und realisiert wurden, folgendes beachtet: **Präventive Konservierung geht vor Nutzerbehaglichkeit!**

Diese Forderung war jedoch in der Praxis nur schwer umsetzbar. Unproblematisch sind die liturgischen Nutzungsgründe, denen im Rahmen des Forschungsprojektes Rechnung getragen wurde, für diese wurde ein manueller Schalter installiert, der die automatische Steuerung für 1,5 Stunden unterbricht, d.h. die Fenster bleiben geschlossen. Im Projektverlauf stellte sich jedoch heraus, dass an weiteren Zeiträumen, die Steuerung unterbrochen wurde/wird. Beispiele hierfür sind:

- subjektive Zugerscheinungen/Lüftung günstig/Lüftung ungünstig
- Umweltgeräusche.

### 3 Klimamonitoring

Um die sich infolge der Witterung, der Temperierung und der Nutzung im Kirchenraum und im Nahfeld der Malereien und der Ausstattung einstellenden Klimate erfassen und bewerten zu können, wurde zu Beginn des Forschungsprojektes ein differenziertes Klima- und Energiemonitoringkonzept entwickelt und dieses in Abhängigkeit des Baufortschrittes umgesetzt. Dies war notwendig, da die seitens der haustechnischen Systeme üblicherweise eingesetzte Sensorik die Erfassung des Raumklimas und eine entsprechende Regelung erlaubt, jedoch keine Informationen über das Klima im Nahfeld der Wand- und Deckenmalerei und der Ausstattung liefert.

Zur Umsetzung der Monitoring- und späteren Regelaufgabe wurde ein kabelgebundenes Messkonzept entwickelt, das auf dem sog. 1-Wire-Bus als Kommunikationsleitung basiert. In diese Kommunikationsleitung wurden die notwendigen elektronischen Messbaugruppen eingebunden, an die die notwendigen Sensoren ange-

geschlossen werden können. Die Sensoren dienen einerseits zur Erfassung des Raumklimas (Temperatur und relative Luftfeuchte) und des Nahfeldklimas an interessierenden Oberflächen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Oberflächentemperatur). Andererseits können durch die Einbindung der Wärmemengenzähler der Heizsysteme in das Bussystem Erkenntnisse über den Betrieb dieser Systeme und deren Energiebedarf gewonnen werden. Insgesamt wurden 122 Sensoren für die Aufzeichnung der Klimate, 4 Zählermodule für die Erfassung des Wärmebedarfs der Heizsysteme und 5 Aktormodule zur Steuerung der Fensterlüftung in der Kirche eingebaut. In den Bilder 5 und 6 sind exemplarisch die installierten Messstellen im nördlichen Teil des Kirchenschiffs, der Kuppeldecke und der Ostwand des Chors dargestellt.

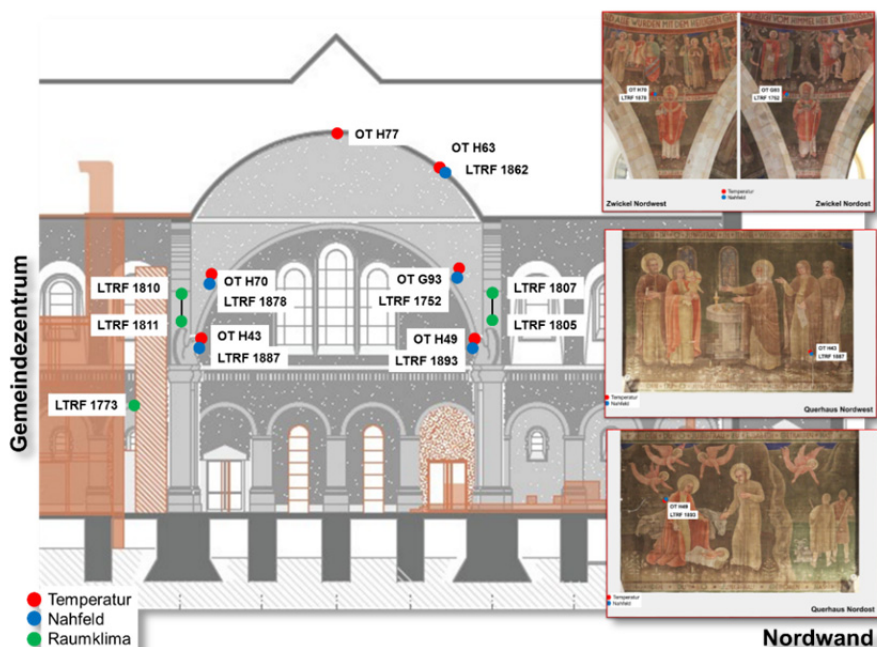


Bild 5 Erfassung der Raum- und Nahfeldklimate im nördlichen Kirchenschiff

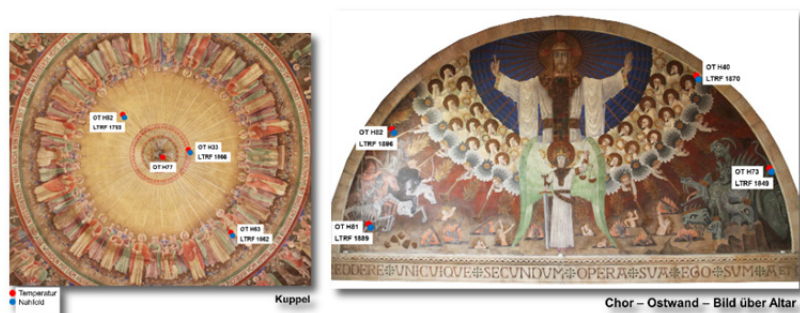


Bild 6 Erfassung der Nahfeldklimате an der Kuppel und an der Ostwand des Chors

Sowohl die Sensoren als auch die Aktoren werden über einen im Heizkeller der Kirche aufgebauten PC im Zyklus von zwei Minuten ausgelesen, archiviert, aktualisiert und visualisiert. Mit Hilfe dieser Sensorik besteht dann die Möglichkeit Aussagen zu folgenden Problematiken zu treffen:

- Behaglichkeit der Nutzer
- Betrieb der Heizsysteme
- Klima im Kirchenraum und im Nahfeld Wand/Decke/Altar
- Risikopotenzial für Tauwasserbildung an der Raumschale/Schimmelpilz.

Um den Projektpartnern den Zugriff auf die Messdaten zu ermöglichen, wurden die Daten mittels einer individuell entwickelten Datenbank online gestellt.

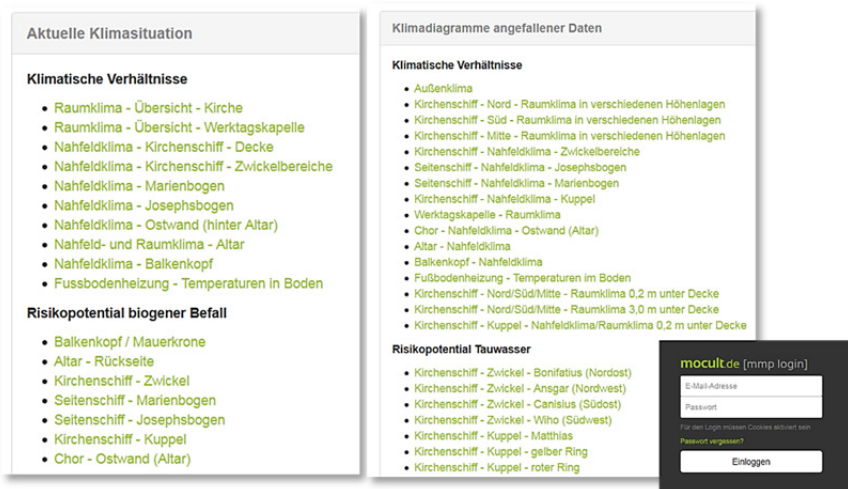


Bild 7 Ausschnitt der Auswahl der Messdaten im Monitoringportal

Somit ist es jederzeit möglich, die aktuellen Kirchenklimate und auch deren zeitlichen Verlauf abzufragen. Bild 7 zeigt einen Ausschnitt aus dem Auswahlmenü der Webvisualisierung. Des Weiteren besteht über das Portal die Möglichkeit, sofern gewünscht, bei Über- oder/und Unterschreitung von Parametern Personen nach Wahl per Mail zu benachrichtigen. Diese Option wurde im Rahmen des Forschungsprojektes nicht benötigt, kann aber jederzeit bei Bedarf aktiviert werden, da vor Ort dank der engagierten Projektpartner eine entsprechende Kontrolle erfolgte und die Kommunikation problemlos war.

Die Installation des MSR-Systems begann im Frühjahr 2013 und wurde, angepasst an den Baustellenfortschritt, zum Ende der Sanierungsphase im August 2013 fertig gestellt. Somit war es möglich schon früh die ersten klimatischen Messdaten zu erfassen und auch den ersten Betrieb der Heizsysteme zu begleiten und zu bewerten. Auf diese Weise war es den Autoren sehr früh möglich, falls notwendig, auf die Regelstrategie der Heizsysteme einzuwirken.

Die Bewertung der Klimadaten vom Dezember 2013 zeigt dann auch bereits die Notwendigkeit eines differenzierten Klimamonitorings. Seitens der Autoren konnte beobachtet werden, dass die eingestellte Heizrate bzw. der Zeitbedarf für das Beheizen der Kirche zu liturgischen Zwecken falsch eingestellt war. Bild 8 zeigt die sich drei Meter unterhalb der Kuppeldecke einstellenden Raumklimate

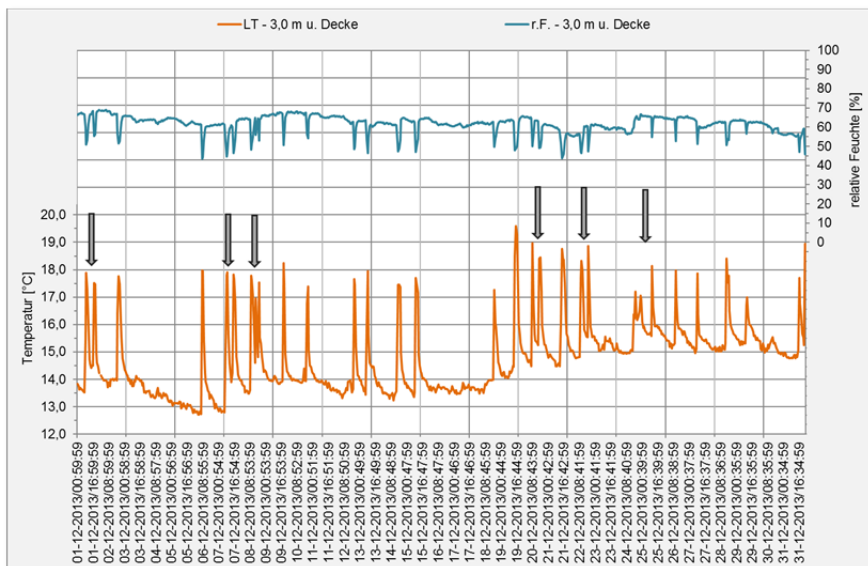


Bild 8 Temperatur und relative Raumluftfeuchte 3,0 m unter der Kuppeldecke - Dez. 2013

Zum einen konnte festgestellt werden, dass sofern an einem Tag mehrfach eine erhöhte Raumtemperatur gewünscht wurde, dazwischen immer der Kirchenraum auf die Grundtemperatur rückgeführt wurde. Zum anderen zeigte die detaillierte Auflösung der Messdaten, wie sie in Bild 9 dargestellt ist, dass die Heizraten bis zu 4 K/h betrugen.

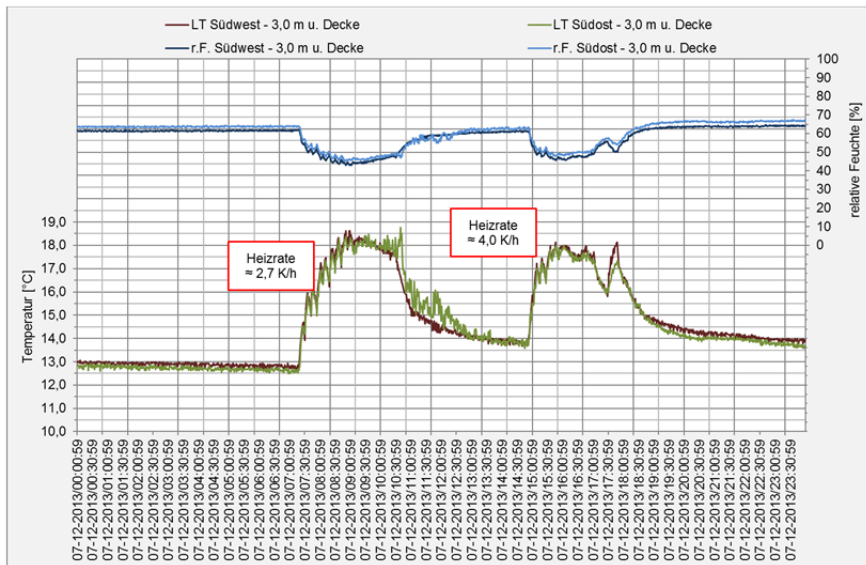


Bild 9 Betrieb der Heizsysteme im Dezember 2013

Da das Aufheizen der Kirche immer auch mit Klimaänderungen verbunden ist, sollten zum einen mehrere Aufheizphasen im Tagesgang unterbleiben und zum anderen müssen die Heizraten auf ein denkmalverträgliches Maß (max. 1,5 K/h) herabgesetzt werden. Auf Basis der Monitoringdaten konnten die Autoren die entsprechenden Empfehlungen geben und auch deren Umsetzung messtechnisch überwachen.

Bild 10 zeigt die Raumklima des Jahres 2015. Hier ist zu erkennen, dass die Grundtemperatur, während die Außentemperaturen unterhalb 0°C lagen (Ende Januar/Anfang Februar/Ende November), bei 10 °C lag. Dies hat zur Folge, dass sich beim Aufheizen der Kirche auf die Nutzungstemperatur eine deutlich höhere Temperaturspreizung ergibt, mit der Folge, dass auch die relative Luftfeuchte stark schwankt. Es konnten Schwankungen von bis zu 25 % r.F. beobachtet werden. Dies ist als kritisch für die wertvollen Wand- und Deckenmalereien einzustufen, zumal auch die in Bild 11 dargestellten Nahfeldklima Schwankungsbreiten von 20 % r.F. aufweisen. Steigt die Grundtemperatur an (ab Mitte Februar), verursacht das An-



steigen der Temperatur auf Nutzungstemperatur deutlich geringere Schwankungen der relativen Feuchte. Die Erhöhung der Grundtemperatur von 8°C auf 12°C reduziert die Schwankungsbreite im Nahfeld der Malereien um 50 %. In Bild 10 ist auch deutlich erkennbar, dass ab Mitte Februar nicht nur die Grundtemperatur auf 12°C–13°C angestiegen ist, die jedoch von den Nutzern angestrebten 14°C nicht erreicht werden. In diesem Zeitraum kann auch beobachtet werden, dass die Nutzungstemperatur auf die angedachten 16°C abgesenkt wurde. Im April steigt die Grundtemperatur auf 14°C an, dadurch verringern sich die Schwankungsbreiten der relativen Luftfeuchten deutlich, im Nahfeld sind diese dann teilweise so geringfügig, dass sie nicht mehr vom Monitoringsystem erfasst werden können.

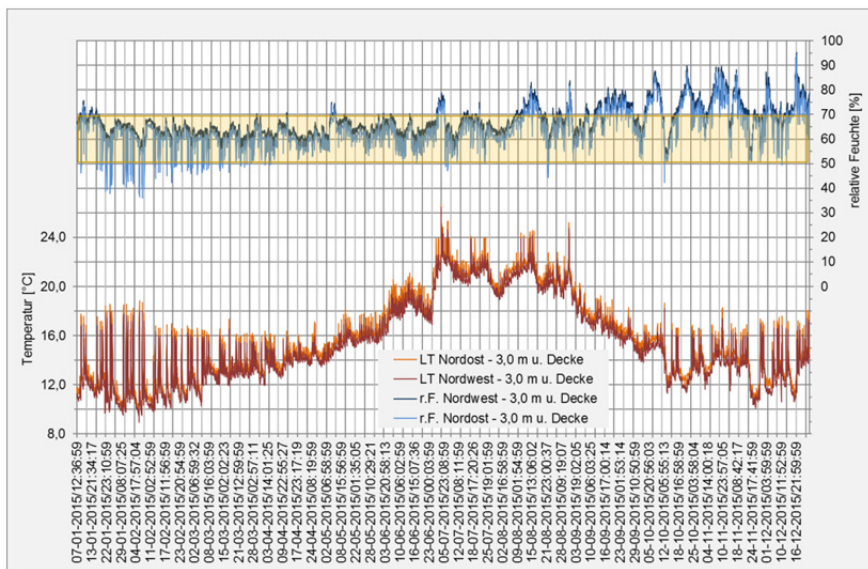


Bild 10 Raumklima auf der Nordseite der Kirche - 2015

Das in Bild 11 exemplarisch aufgezeigte Nahfeldklima der Kirchennordwand zeigt, dass das Raumklima in gemilderter Form im Nahfeld der Wände widerspiegelt wird. Abgesehen von den heizungsbedingt induzierten Schwankungen der relativen Luftfeuchte in den Monaten Januar bis März befindet sich die relative Nahluftfeuchte, mit wenigen Ausnahmen, bis Anfang September aus bauphysikalischer Sicht mit durchschnittlich 65 % r.F. auf einem günstigen Niveau. Danach steigt die relative Luftfeuchte häufig auf Werte über 70 % r.F. an. Die Gründe für diesen Anstieg konnten nicht geklärt werden. Während dieser Zeiträume wäre es aus konservatorischer Sicht günstig, da witterungsbedingt nur wenig gelüftet werden kann (relative Luftfeuchte außen war sehr hoch), die relative Luftfeuchte durch ein An-



heben der Raumtemperatur auf Werte unter 70 % r.F. abzusenken. Diese Art von Regelalgorithmus ist nicht im Heizkonzept implementiert, könnte aber durch Schaffung einer entsprechenden Schnittstelle mit dem vorhandenen MSR-System problemlos realisiert werden.

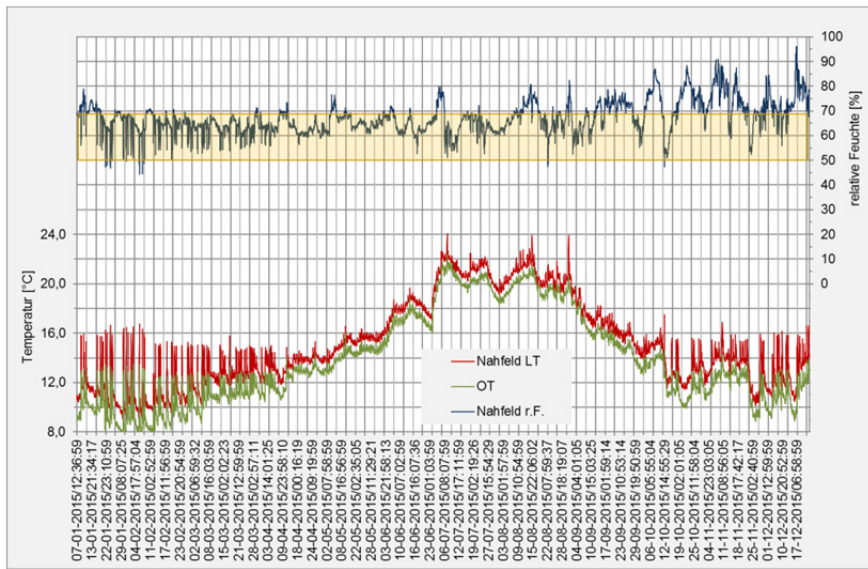


Bild 11 Nahfeldklima an der nördlichen Außenwand im Jahr 2015

Die in Bild 12 dargestellten Extremwerte des Jahres 2015 zeigen, dass sich an der Nord- und der Südseite etwas unterschiedliche Raumklimata ausbilden. Das Temperaturniveau im nördlichen Bereich der Kirche ist um durchschnittlich 1 Kelvin geringer als im südlichen Bereich. Entsprechend verhalten sich auch die zugehörigen relativen Raumluftfeuchten, d.h. auf der Nordseite stellen sich geringfügig höhere Luftfeuchten ein. Im Hinblick auf die Nahfeldklimata zeigt sich ein etwas anderes Bild. Hier zeigen sich zwischen Nord-, Süd- und der Chorbauwand nur marginale klimatische Unterschiede.

Dagegen bilden sich an der Kuppeldecke deutlich höhere Temperaturen und geringere relative Luftfeuchten aus. Die Gegenüberstellung der Extremklimata zeigt zum einen auch, dass sich im Bereich der Kuppel während sommerlicher Wärmeperioden die höchsten Temperaturen ausbilden und zum anderen, dass das Nahfeldklima der Kuppel deutlich mehr vom Raumklima beeinflusst wird, als die Nahfeldklimata der Nord-, Süd- und Ostwand.

An den Extremwerten im Bereich hinter dem Altar kann beobachtet werden, dass sich deutlich geringere Temperaturen während warmer Sommerphasen ausbilden und während der kälteren Witterungsperioden zu etwas höheren Temperaturen führen. Die sommerlich geringeren Temperaturen ergeben sich aus der Fensterlüftung, die eine Querbelüftung zur Nachtabkühlung ermöglicht. Im Bereich des Chors sind fünf der sieben Fenster, die über das MSR-System angesteuert werden. Das winterliche Temperaturniveau ist eine direkte Folge der Lüftungsführung der Warmluftheizung, da hinter dem Altar die Abluft aus dem Kirchenraum abgezogen wird. Die Extremwerte der relativen Luftfeuchte im Nahfeld hinter dem Altar entsprechen denen der anderen analysierten Nahfelder, mit Ausnahme der Kuppeldecke.

Die Gegenüberstellung der Raumklimata mit der maximalen Außentemperatur, die im Jahr 2015 in Osnabrück bei ca. 36°C lag, ergibt, dass sich im Kirchenraum Temperaturen einstellen, die um ca. 9°C geringer sind.

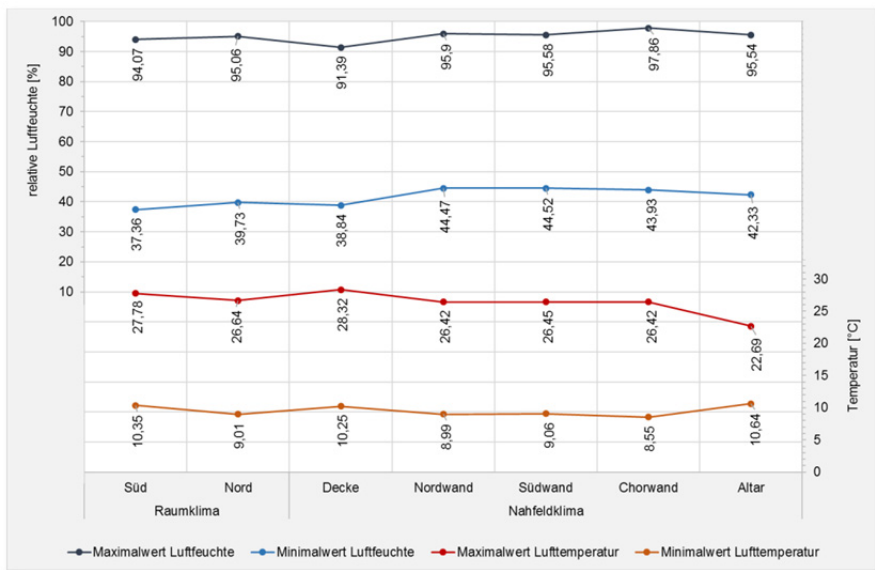


Bild 12 Gegenüberstellung der klimatischen Extremwerte für das Jahr 2015 – Raumklima/Nahfeldklima

In Bild 13 ist die Analyse im Hinblick auf Tauwasserausfälle an der Raumschale exemplarisch für die nördliche Kirchenwand aufgezeigt. Hierbei ist recht deutlich erkennbar, dass die Gefahr eines Tauwasserausfalls mit dem Anstieg der relativen Luftfeuchte auf Werte oberhalb 80 % r.F. während kälterer Witterungsperioden zunimmt. Auch hier würde sich konservatorisches Heizen als günstig erweisen, da

auf diese Weise die relative Luftfeuchte reduziert und gleichzeitig die Außenwände auf ein etwas höheres Temperaturniveau geführt würde.

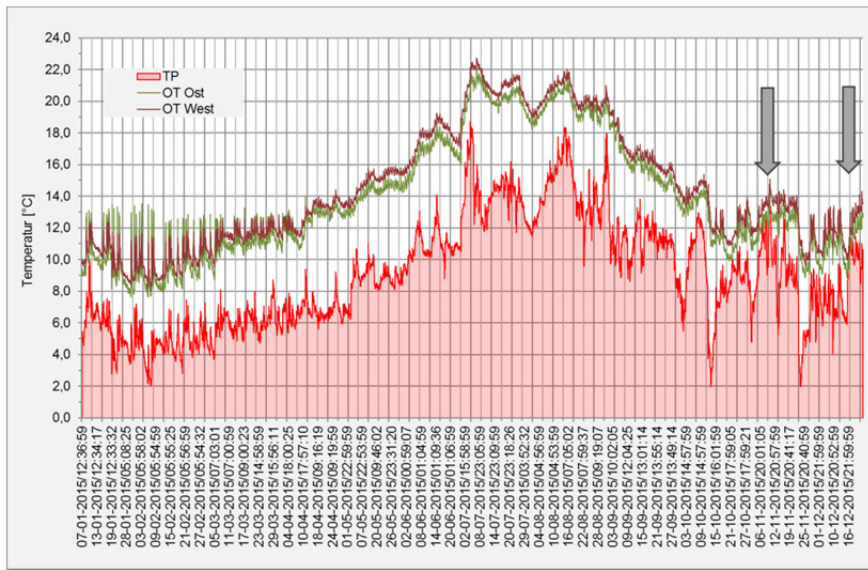


Bild 13 Gefahr von Tauwasserausfall an der nördlichen Kirchenwand – 2015

Im Allgemeinen kann aus den Analysen der klimatischen Verhältnisse in der Kirche St. Joseph geschlossen werden, dass im Kirchenraum aus bauklimatischer Sicht im Jahresgang während langer Zeitspannen relativ gute Bedingungen vorherrschen.

## 4 Ausblick

Das während des Forschungsprojektes entwickelte und realisierte MSR-System ermöglichte es, den Einfluss des Betriebs der Heizungssysteme auf die Wand- und Deckenmalereien zu erfassen und bereits während der ersten Betriebsmonate Optimierungskonzepte zu erarbeiten. Die im Rahmen dieses Beitrags aufgezeigte Bewertung der klimatischen Verhältnisse im Raum und im Nahfeld der Wandmalereien zeigt, dass sich aus technischer Sicht über lange Zeitspannen recht günstige klimatische Verhältnisse im Jahresgang einstellen, aus konservatorisch präventiver Sicht jedoch noch Optimierungspotenzial vorhanden ist. Die Daten und Analysen zeigen, dass die Implementierung einer weiteren Heizstrategie, nämlich die des konservatorischen Heizens, notwendig ist. Dieses Konzept benutzt Wärme, um die relative Luftfeuchte über das gesamte Jahr auf einem stabilen und angemessenen Niveau zu halten [2]. Die Voraussetzungen für die Realisierung dieser Art von Re-

gelstrategie sind in der Kirche St. Joseph gegeben. Das vorhandene MSR-System kann entsprechend durch Schnittstellen und programmtechnische Anpassungen erweitert werden, so dass eine Übergabe von Steuersignalen in die Heizsysteme möglich ist. Das erweiterte MSR-System ist dann in der Lage, die Ist-Situation im Nahfeld der Wand- und Deckenmalereien zu bewerten und falls notwendig, die entsprechenden Befehlssequenzen zum notwendigen Wärmeeintrag an die mit intelligenter Heizungstechnik ausgestatteten Heizungsventile zu übergeben. Da es sich bei diesem MSR-System um ein System mit hoher Regelfähigkeit handelt, kann ein energetisch effizienter Betrieb einer konservatorischen Beheizung gewährleistet werden. Das bedeutet, es wird immer nur so viel Wärme freigesetzt, wie unbedingt notwendig.

## 5 Literatur

- [1] Bund Deutscher Orgelbaumeister e.V.: Merkblatt zum Heizen und Lüften von Kirchenräumen (besonders solche mit Orgeln, Massivholzeinbauten und Wandmalereien), 2007.
- [2] DIN EN 15759-1:2012: Erhaltung des kulturellen Erbes - Raumklima – Teil 1: Leitfäden für die Beheizung von Andachtsstätten; Beuth Verlag GmbH; 10772 Berlin.



# Untersuchungen zur mikrobiellen Besiedlung in St. Joseph, Osnabrück

## unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen

*Prof. Karin Petersen, Ulrich-Markus Fritz, Gabriele Krüger, HAWK Hildesheim*

**Abstract:** Der Zusammenhang zwischen Nahfeldklima und Besiedlung der Architekturoberflächen wird dargestellt und vor dem Hintergrund der Auswirkung der klimaethischen Ertüchtigung des Kircheninnenraums von St. Joseph, Osnabrück verdeutlicht. Alle Untersuchungen erfolgten vereinbarungsgemäß zerstörungsfrei.

## 1 Ausgangssituation und Untersuchungsmethoden

Der folgende Beitrag erläutert zunächst die Ausgangssituation und die ausgeführten Untersuchungen im Hinblick auf die Besiedlung durch Schimmelpilze und beschreibt danach die durch die Sanierungsmaßnahmen erzielten Auswirkungen im Zusammenhang mit parallel erfolgten Laboruntersuchungen.

Die hierfür eingesetzten Analysentechniken sollen zunächst erläutert werden.

### 1.1 Luftkeimmessungen

Mit der Luftkeimmessung ist es möglich, eine Keimbelastung in Räumen und eine daraus resultierende vom Objekt ausgehende Belastung, bzw. ein Schadenspotential für die Objekte aufzudecken, sowie eine mögliche Gesundheitsgefährdung zu erfassen. Auch einen Hinweis auf versteckten Befall kann eine Luftkeimmessung geben.

Zur Analyse der Raumluft auf ihre Keimbelastung (Kolonie bildender Einheiten) pro Kubikmeter Luft (KBE/m<sup>3</sup>) wird mit einem geeigneten Luftkeimsammler ein definiertes Luftvolumen über einen Nährboden geführt. Die in der Luft enthaltenen Keime lagern sich auf dem jeweiligen Nährboden ab. Lebensfähige Zellen wachsen dort an und bilden Kolonien. Von jeder Messung werden vier Parallelen pro Nähr-

bodenart angefertigt. Als Nährböden kommen Malzextrakt-Agar (MEA, Standard-Nährboden für Pilze), Dichloran-Glycerin-Agar (DG 18, Standard-Nährboden für Pilze, die weniger Feuchtigkeit benötigen) zum Einsatz. Je drei Nährböden werden im Labor bei Raumtemperatur inkubiert, je einer im Klimaschrank bei 37°C (Körpertemperatur), um gesichert auch solche Keime zu erfassen, die wegen der so nachzuweisenden Thermotoleranz zu einer Infektion beim Menschen führen könnten.

Erstmalig nach 3 Tagen, insgesamt bis zu 3 Wochen Inkubationszeit (je nach Wachstum der Organismen) wird der Versuch ausgewertet, hierzu werden die Kolonie bildenden Einheiten (KBE) nach Art/Gattung und Anzahl bestimmt. Zu beachten ist, dass mit dieser Methode nur die keimfähigen Zellen erfasst werden, es ist durchaus möglich, dass darüber hinaus eine Belastung mit nicht keimfähigem (nicht infektiösem) Zellmaterial vorliegt.

Allergien oder Gefährdungen durch Sekundärmetabolite wie zum Beispiel Mykotoxine können jedoch auch von nicht mehr lebensfähigen Zellen und Zellbruchstücken ausgehen.

Wegen der im Tages- und Jahresverlauf wechselnden Belastung der Außenluft ist es notwendig, auch dort eine Messung durchzuführen, um den Belastungsgrad der Raumluft gegenüber der Keimbelastung in der Außenluft zum Messzeitpunkt beurteilen zu können.

## 1.2 Mikroskopiepräparat

Das Mikroskopie-Präparat dient der Identifizierung des gegebenenfalls am Objekt vorliegenden mikrobiellen Befalls.

Bei der Erstellung eines solchen Präparates werden mit einem handelsüblichen durchsichtigen Klebefilmstreifen die auf der Oberfläche des zu beprobenden Objektes ausgebildeten Besiedlungsanteile vorsichtig abgehoben.

Das am Klebefilm anhaftende Probenmaterial wird im Mikroskop auf mikrobiologische Strukturen hin untersucht. Je nach Art und Häufung der Zellen kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob am Objekt ein Befall vorliegt oder nicht. Gegebenenfalls kann anhand der Morphologie eine Identifizierung von Organismen erfolgen. In der Regel lässt sich zumindest eine Gattungsbestimmung für Schimmelpilze vornehmen, häufig auch eine Artbestimmung.

### 1.3 Stempelproben zur Anzucht von Keimen

Mit Stempelproben werden die oberflächlich vorliegenden Keime des Objekts erfasst.

Bei dieser Methode wird mit einem Stück sterilem Samt die Oberfläche des Objekts abgestempelt und die Keime werden so direkt vor Ort auf Nährböden übertragen. Der Vorteil dieser Form des Abklatschpräparates gegenüber dem üblichen Verfahren (das Objekt direkt mit dem Nährboden abzustempeln) liegt darin, dass es nicht zur Anreicherung verwertbarer organischer Substanzen auf der Objektoberfläche kommen kann. Die Nährböden werden anschließend für mindestens eine Woche im Labor inkubiert und das Wachstum beobachtet. Mit Hilfe des Abklatschpräparates ist es möglich die Keimbelastung quantitativ (KBE/beprobter Fläche) und vor allem qualitativ zu erfassen. Bei der Auswertung ist zu bedenken, dass unter den optimalen Bedingungen im Labor auch Keime anwachsen, die zwar am Objekt vorliegen, unter den dortigen Bedingungen aber nicht zur Ausbildung kommen. Ein Abgleich mit Mikroskopie-Präparaten ist deshalb zwingend erforderlich!

Bei der quantitativen Beurteilung ist weiterhin zu beachten, dass die Keimverteilung am Objekt nie gleichmäßig ist. Hier ist es sinnvoll den beprobten Bereich optisch mit der gesamten Oberfläche zu vergleichen. In der Literatur wird davon ausgegangen, dass bei einer Keimbelastung  $> 5 \text{ KBE}/25 \text{ cm}^2$  eine mikrobielle Belastung vorliegt; Keimzahlen  $> 50 \text{ KBE}/\text{cm}^2$  deutlich über dem tolerierbarem Wert liegen.

### 1.4 Messung des Energiegehalts auf ausgewählten Testflächen (ATP)

Aktiv Stoffwechsel betreibende Organismen speichern in ihren Zellen Energie in Form von Adenosintriphosphat.

Die Messung des oberflächlichen Energiegehaltes wird genutzt, um die Aktivität eines mikrobiellen Befalls zu erfassen. Unter einem aktiven Befall versteht man Zellen, die Stoffwechsel betreiben und dabei Energie in Form von Adenosintriphosphat (kurz ATP) speichern. Das vorliegende ATP ist für das eingesetzte Messverfahren entscheidend. Zu beachten ist, dass es sich hierbei nicht um einen Vitalitätsnachweis handelt. Viele Mikroorganismen sind in der Lage, auch längere Perioden ohne Nährstoffe oder bei ungeeignetem Klima zu überleben. Sie befinden sich dann in einer Art Ruhezustand, in der Vitalität (Lebensfähigkeit) aber kein Stoffwechsel (also kein ATP) nachweisbar ist.

Liegt ein Befall im Ruhezustand oder sogar tot vor, kann er sich zwar optisch störend auswirken, wird sich aber weder ausbreiten noch aktiv zu Schäden am Objekt führen.



Für die Erfassung des oberflächlichen Energiegehalts mittels ATP werden die oberflächlichen Keime in einem definierten Bereich mit einem Wattestäbchen abgenommen und in einer Extraktionslösung lysiert.

Sind aktive Keime vorhanden, wird hierbei Adenosintriphosphat frei, welches im nächsten Schritt des Tests genutzt wird, um ein zugesetztes Substrat enzymatisch umzusetzen. Bei dieser Reaktion entstehen Lichtblitze, die mit einem Luminometer erfasst werden können. Die gemessene Lichtmenge ist als geräteinterne Messgröße (RLU = Relativ Light Units) ablesbar. Basierend auf Erfahrungswerten kann die Aktivität am Ort der Probeentnahme eingeschätzt werden [1, 2].

## 2 Die Besiedlung der Malereien, der Architekturoberfläche und der Altarrückseite

Die auffällige Besiedlung durch Schimmelpilze wurde vor dem Beginn des DBU-Projektes und den Sanierungsmaßnahmen, mehrfach auch im Rahmen von Lehrveranstaltungen und durch verschiedene Institute analysiert. Im Wesentlichen konnte eine intensive über alle Architekturoberflächen ausgebreitete Besiedlung durch Schimmelpilze der Gattung *Aspergillus* und hier ein bereits bei geringer Feuchtigkeit wachsender Vertreter der Untergruppe *Aspergillus glaucus* festgestellt werden.

An einigen unkritischen Bereichen wurde daraufhin der durchgehend vorhandene Dispersionsanstrich abgehoben, um eine mögliche Besiedlung unter der Oberfläche zu erfassen. Die Problematik einer Tiefenbesiedlung [3] konnte so für St. Joseph ausgeschlossen werden.

Langjährige Erfahrungen von Praktikern lassen den Schluss zu, dass gerade Dispersionsanstriche eine intensive Schimmelbildung in den betroffenen Sakralräumen fördern, hier ist einerseits die Beeinflussung des oberflächennahen Mikroklimas aber auch die Substratfunktion der in den Anstrichen enthaltenen organischen Anteile als Ursache zu nennen [4].

### 2.1 Besiedlung der Malerei

Eine intensive Besiedlung ließ sich zudem auch auf den Malereien beobachten, deren Verteilung durch die beteiligten Restauratoren dokumentiert und kartiert wurde.

Auch für den Bereich der Malereien erfolgte eine zerstörungsfreie Probennahme, die es ermöglichte, die tatsächlich am Objekt ausgebildete Besiedlung zu identifizieren.

Beispielhaft wird in den Bildern 1 und 2 die Besiedlung im Bereich der Kuppelmalerei aufgezeigt.



Bild 1 Malereifeld in der Kuppel, L. Wissing



Bild 2 Kartierung der Besiedlung, L. Wissing

In der UV-Anregung wird die Besiedlung deutlicher sichtbar, entsprechende Aufnahmen lassen sich somit auch zukünftig als Grundlage für ein Monitoring auf eine mögliche weitere Ausdehnung des Befalls nutzen.

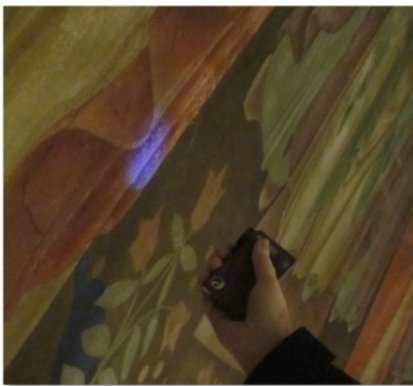


Bild 3 UV-Anregung markiert Ausdehnung des Befalls, Foto Jakobs

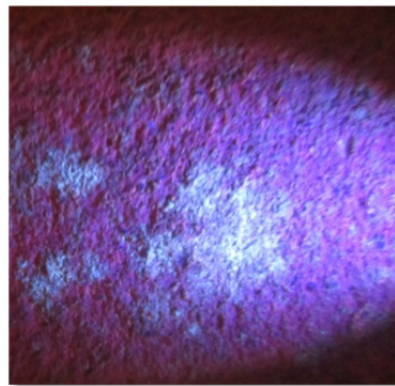


Bild 4 Detail, Schimmelkolonien fluoreszieren unter UV-Anregung, Foto Jakobs

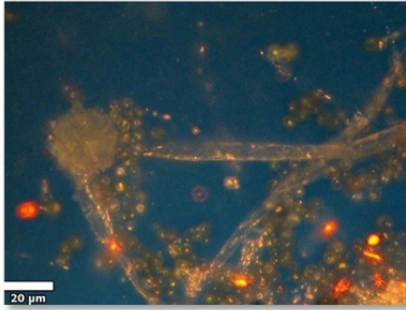


Bild 5 A. glaucus

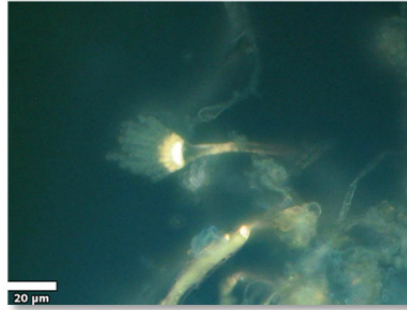


Bild 6 A. restrictus

Durch UV Anregung (355 nm) erzielte Fluoreszenz der Isolate *A. glaucus* und *Aspergillus restrictus*.

Die Besiedlung ließ sich anhand der mikroskopischen Untersuchungen auf *Aspergillus restrictus* und *Aspergillus glaucus* (in der geschlechtlichen Form *Eurotium herbariorum*) eingrenzen, dieses Ergebnis wurde durch die Anzuchtversuche gestützt, die zudem belegen, dass es sich weitgehend um lebensfähige Besiedlungsanteile handelte. Für die untersuchten 66 Probenstellen ließ sich zudem belegen, dass im Bereich roter, dunkelbrauner und ockerfarbener Pigmente die höchste Besiedlungsdichte mit Schimmelpilzen ausgebildet war, während grüne und dunkelrote Bereiche nicht besiedelt waren.

Eine Analyse des ATP-Gehalts auf den Malereien ließ sich nicht durchführen, da diese im Falle der Ausmalung in St. Joseph zu Pigmentverlusten geführt hätte.

## 2.2 Besiedlung des Altars

Auch an der Rückseite des Altars war eine massive Schimmelbelastung deutlich sichtbar; *Aspergillus glaucus* und *Aspergillus restrictus* wurden hier ebenfalls festgestellt.

Die ungünstige Lage des Austritts der warmen Heizungsluft direkt vor der kälteren Altarrückseite dürfte hier ursächlich für die starke Besiedlung sein. Diese Erkenntnis wurde bei der Anpassung der Lüftungsanlage berücksichtigt. Die Raumluft wird bei der neuen Luftführung hinter dem Altar abgezogen.



Bild 7 Intensive Besiedlung der Altarrückseite

Wegen dieser extremen Besiedlungsintensität wurden an dieser Stelle Reinigungsmuster und auch Hemmstoffproben angelegt, die eine Entscheidung für eine – zu einem späteren Zeitpunkt geplante – Maßnahme am Altar auf eine fundierte Basis stellen sollten, indem dann die Nachhaltigkeit der verschiedenen Proben untersucht werden könnte.



Bild 8 Lüftungsschacht



Bild 9 Reinigungs- und Hemmstofftests an der Altarrückseite

## 2.3 Erfassung der Keimbelastung in der Raumluft

Die Feststellung der Raumluftbelastung mit Kolonie bildenden Einheiten (KBE/m<sup>3</sup>) erfolgte mehrfach. Dargestellt wird hier die Situation im Mai 2014, also nach der Umstellung der Lüftungsanlage, aber noch bevor die Altarrückseite gereinigt wurde.

Obwohl die Belastung im Kirchenraum zum Zeitpunkt der Messung (bei insgesamt sehr geringer Keimbelastung) deutlich unter der in der Außenluft lag, zeigte sich ein erhöhter Keimgehalt bei Betrieb der Lüftung. In der Luft hinter dem Altar lässt sich diese Belastung durch das Freisetzen von Konidien von der zu dem Zeitpunkt noch nicht gereinigten Altarrückwand erklären, nicht jedoch für die beiden anderen Standorte mit ebenfalls erhöhtem Keimgehalt während des Betriebs der Lüftung.

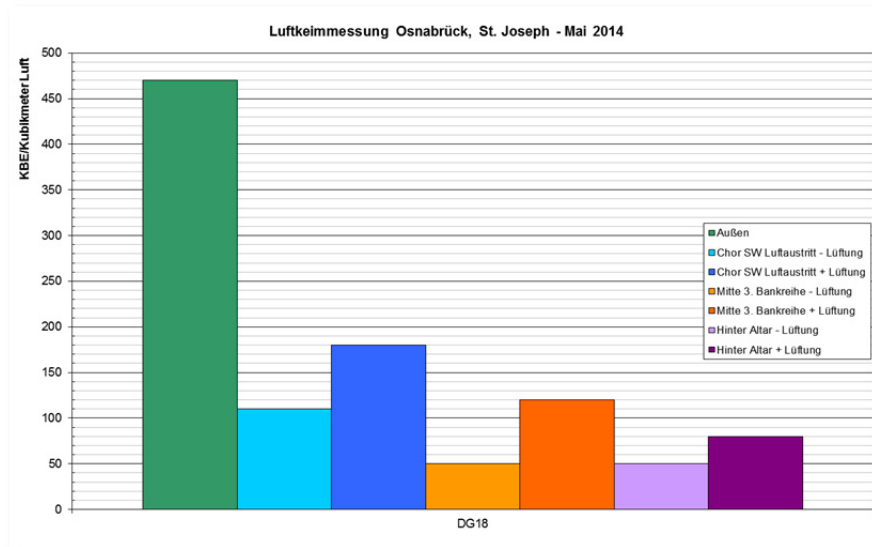


Bild 10 Keimbelastung (KBE/m<sup>3</sup>) in der Raumluft ohne und mit Betrieb der Lüftungsanlage nach der Sanierung im Vergleich zur Belastung der Außenluft

Diese Art der Untersuchung müsste also unbedingt über einen längeren Zeitraum fortgesetzt werden.

Ein sehr hoher Anteil der Luftkeime konnte als *Aspergillus restrictus* identifiziert werden, wobei sich die Belastung der Luft mit diesem xerophilen Keim auch unter der Kuppel (Bankreihe 3) bei eingeschalteter Lüftung deutlich erhöhte. Durch eine Luftbewegung entlang hochgradig belasteter Flächen (Altarrückwand) erfolgt demnach auch nach Umstellung der Luftführung eine weitere Verbreitung der keimfähigen Zellen, was zu einer entsprechenden Verteilung an allen von der Lüftung beeinflussten Oberflächen im Raum führen dürfte und dort, wo das Mikroklima wie auch die Nährstoffversorgung (nicht nur wegen der vorhandenen Bindemittel sondern auch in Folge von Staubauflagerungen mit organischen Anteilen) dies erlauben, eine weitere Ausbreitung des Befalls bewirken.

### 3 Monitoring nach Sanierung und Konsolidierung

Derzeit erfolgt das Monitoring im Hinblick auf den mikrobiellen Befall über Feststellung der Keimbelastung in der Luft, sowie die durch mikroskopische Untersuchungen und Anzuchtversuche unterstützte makroskopische Bewertung der Besiedlung an der zuvor gereinigten Kuppelmalerei. Zudem wurden in allen Bereichen des Kirchenraums Monitoringflächen für die Messung des Energiegehalts und der Belastung mit keimfähigen Sporen (KBE cm<sup>2</sup>) ausgewählt.

#### 3.1 Belastung der Malereien in der Kuppel

Bereits 2015 zeigte sich bei der Inaugenscheinnahme der Malerei in der Kuppel, dass makroskopisch Bereiche mit erneutem Schimmelbefall festgestellt werden konnten. Bei der Aufarbeitung im Labor wurde deutlich, dass es sich bei der Besiedlung um Keime der Gattung *Aspergillus* und zwar *Aspergillus restrictus* und *Aspergillus glaucus* (*Eurotium herbariorum*) handelte.

Diese Feststellung lässt den Schluss zu, dass sich auch nach Änderung der Heizungsanlage zumindest im Bereich der Kuppel ein die Besiedlung förderndes Nahfeldklima einstellt.

#### 3.2 Messungen des Nahfeldklimas in der Kuppel

Die Analyse der im Objekt an der Kuppel gemessenen Klimadaten zeigt, dass das Nahfeldklima jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt.

Im Frühjahr 2015 lagen die Feuchtwerte um 60 % r.F., max. 65 % r.F., mit vielen kurzfristigen Absenkungen auf bis zu 50 % r.F.; die Temperaturen weichen an den Messstellen in der Kuppel nicht nennenswert voneinander ab und liegen zwischen 14–18°C. Die Schwankungen erfolgten kurzfristig und zahlreich.

Zum Sommer hin stiegen die Temperaturen (20–25°C) und relativen Luftfeuchten bis max. 75 % r.F. langsam an; die Zeiträume hoher Luftfeuchte nahmen zu. Die Temperatur lag für den ganzen Zeitraum > 20°C; wobei sich Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Messstellen einstellten.

Im Herbst sanken die Temperaturen langsam ab von 20°C auf 14–18°C, mit Minima bis 6°C (NT Matthias). Kurzfristige Temperaturschwankungen erfolgten kaum noch. Die Messstelle NT Matthias zeigte im Vergleich mit NT Gelber Ring besonders niedrige Temperaturen. Es ergaben sich über längere Zeiträume stabile hohe Luftfeuchten um 70 % r.F. bis max. 85 % r.F..

Im November/Dezember nahm die Luftfeuchte im Nahfeld weiter zu: die relative Feuchte im Nahfeld lag die meiste Zeit um 70–75 % r.F. mit Spitzen bis 85 %. Wei-

terhin nahmen die Abweichungen der Temperaturmessstellen (NT Matthias im Vergleich zu NT Gelber Ring) zu mit stärkeren und zahlreicheren Temperaturschwankungen und Temperaturabsenkungen bis auf 6°C. Die Temperatur bei NT Gelber Ring schwankte dagegen nur zwischen 15–18°C. Die tieferen Abweichungen der Temperatur für NT Matthias nahmen an Dauer und Häufigkeit zu.

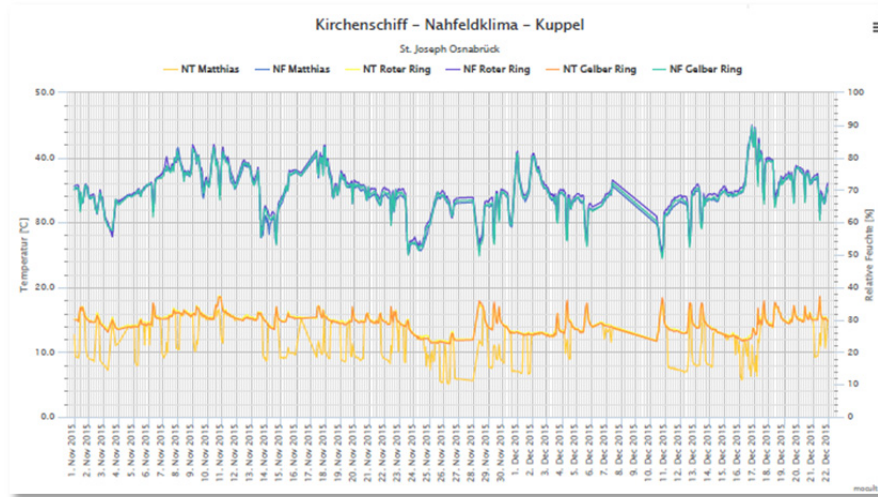


Bild 11 Nahfeldklima in der Kuppel, MOCult

### 3.3 Auswirkung des Klimas auf die Besiedlungsintensität

Um der Fragestellung nachzugehen, wie das in der Kuppel festgestellte Nahfeldklima die Ausbreitung des Schimmels fördert, erfolgten Laborversuche zur Erfassung der Wachstumsbedingungen für diese beiden Isolate, wobei sowohl die Feuchte als auch die Temperaturansprüche untersucht wurden. Diese Versuche wurden über einen Zeitraum von 169 Tagen auf Grundlage der parallel durch die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Garrecht (MOCult) gemessenen Temperaturen in der Kuppel durchgeführt, mit dem Ziel, daraus einen Klimakorridor abzuleiten, in dem die Aktivität dieser Pilze weitgehend unterbunden werden kann.

Hierzu wurden die für den Befall relevanten Pilzstämme *Aspergillus glaucus* und *Aspergillus restrictus* isoliert und Festmedien mit unterschiedlicher Wasseraktivität (verfügbare Feuchte) mit Aliquots der Keimsuspensionen beimpft, wobei das Feuchteangebot der Nährmedien durch Zugabe von Glycerin auf Wasseraktivitätswerte zwischen 0,956 und 0,704 eingestellt wurde. Die beimpften Platten wurden bei Temperaturen zwischen 6–26 °C inkubiert. Die Auswertung der Koloniegröße und -beschaffenheit erfolgte nach: 4, 7, 11, 13, 27, 53, 169 Tagen.



Wie zu erwarten, zeigte sich, dass die Wachstumsgeschwindigkeit von der Inkubationstemperatur und vom Feuchtigkeitsgehalt der Böden ( $a_w$ -Wert) beeinflusst wird. Bei einer Variation von Feuchte und Temperatur toleriert *Aspergillus restrictus* außerhalb seines Temperaturoptimums geringere Abweichungen von der idealen Feuchte als im Bereich des Temperaturoptimums. Dies bedeutet, dass der Wachstumsbereich sich in den Randbereichen verengt.

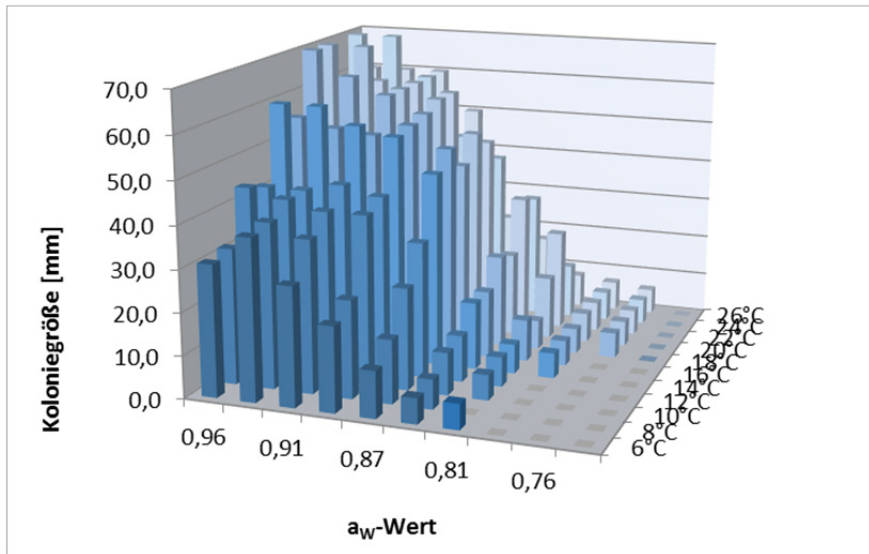


Bild 12 Wachstum von *A. restrictus* in Abhängigkeit von Temperatur und Wasserverfügbarkeit ( $a_w$ ) des Nährbodens über den Zeitraum von 169 Tage, Bodenfläche blau: Sporen gekeimt

Allgemein kann man feststellen, dass der Pilz bei höherer Temperatur (innerhalb des in St. Joseph realistischen Bereichs) schneller wächst und toleranter gegen ungünstige Feuchteverfügbarkeit ist. Temperaturen ab 18°C, die an der Kuppel durchaus häufiger erreicht wurden, lassen bereits bei  $a_w$ -Werten ab 0,70 ein Wachstum des *A. restrictus* Isolats zu.

Die Morphologie des Pilzes (die Art und Weise, wie die Hyphen aussehen und welche und wie viele Fruchtkörper gebildet werden) hängt ebenfalls von der Temperatur und Feuchtigkeit ab.

*Aspergillus glaucus*, der im Gegensatz zu *Aspergillus restrictus* über die Möglichkeit verfügt, neben ungeschlechtlichen Konidien auch geschlechtliche Asco-Sporen zu bilden, welche sich bei diesem Isolat in gelb gefärbten kugelförmigen Cleistothecien bilden.



cien befinden, wurde am Objekt jedoch bisher nur in der ungeschlechtlichen Vermehrungsform gefunden.

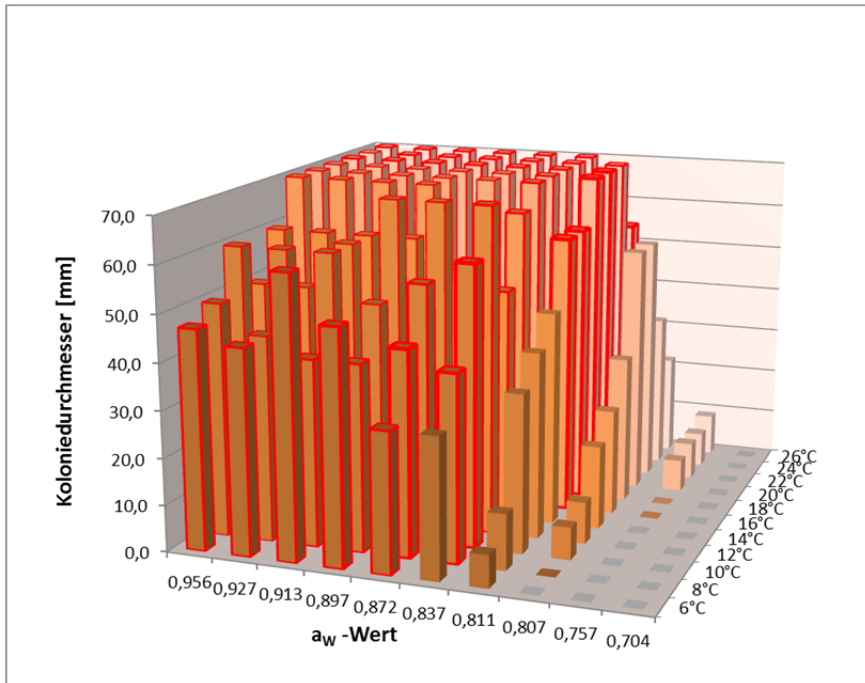


Bild 13 *Aspergillus glaucus* (*Eurotium herbariorum*) Gesamtentwicklung: Koloniedurchmesser nach 169 Tagen in Abhängigkeit vom  $a_w$  - Wert und der Temperatur. Rot umrandet: Bildung der geschlechtlichen Fruchtkörper neben den ungeschlechtlichen Konidien; Bodenfläche farbig markiert: Sporen gekeimt

Insgesamt zeigten sich leichte Unterschiede im Wachstumsverhalten der beiden relevanten Isolate, bei Temperaturen zwischen 18 und 26°C sind die Sporen von *Aspergillus restrictus* auch auf den Platten mit dem geringsten Feuchteangebot (0,704  $a_w$ ) gekeimt, während bei *A. glaucus* die Sporen lediglich gequollen waren. Auskeimen und Wachstum erfolgt für *A. glaucus* bis zu einem  $a_w$  Wert von mindestens 0,757.

Es ist erkennbar, dass der günstigste Temperaturbereich für die Entwicklung bei *A. restrictus* etwas schmäler ist (18–22°C), als bei *A. glaucus* (16–26°C). Dieser hat generell eine breite Temperaturtoleranz und kann in einem breiten Temperaturbereich schneller wachsen, während *A. restrictus* bei vergleichbaren niedrigeren

Temperaturen und Feuchtigkeit viel langsamer wächst. Die ausgebildete Glockenkurve ist folglich bei *A. restrictus* schmaler als bei *A. glaucus*.

Obwohl das Eurotium Isolat (*Aspergillus glaucus*) generell auch die Ausbildung von geschlechtlichen Sporen zeigt, wurden bei  $a_w$  - Werten kleiner 0,811 unterhalb von 16°C und bei  $a_w$  - Werten unterhalb von 0,807 im gesamten Temperaturbereich nur ungeschlechtliche Konidien und keine Cleistothecien gebildet, für die geschlechtliche Fortpflanzung sind höhere Feuchtigkeit der Böden bzw. höhere Temperaturen erforderlich. Der ideale Temperaturbereich verengt sich bei trockeneren Böden auf 20–22°C. Die Ergebnisse können nicht als endgültig angesehen werden, da weiteres Auskeimen für die gequollenen Sporen von *A. glaucus* bei 0,704  $a_w$  auch noch stattfinden kann. Zwischen Quellen und Auskeimen kann eine lange Zeitspanne liegen, es werden Zeiten von 720 Tagen bis zum Auskeimen angegeben [5].

In trockeneren Situationen kann bei günstigerer Temperatur also geschlechtliche Fortpflanzung erfolgen. Bei höheren Temperaturen ab 20°C ist eine Keimung bei Wasseraktivitäten von 0,757 erfolgt; die Sporen sind aber bereits ab  $a_w$  0,704 gequollen.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den im Objekt an der Kuppel gemessenen Klimadaten so zeigt sich, dass, außer im Frühjahr 2015, die Wachstumsbedingungen für die beiden Isolate über längere Zeiträume erfüllt sind.

Für das Wachstum geeignete Zustände von 72–76 % r.F. und höher und Temperaturen von 14–18°C ergaben sich für längere Zeiträume im Winter.

Während im Frühling 2015 die Nahfeldfeuchten unkritisch waren und um 55–60 % r.F. lagen, stiegen im Sommer die Temperatur an auf 20–25°C und es gab auch im Sommer längere Phasen geeigneter Feuchte um 70 %. Die kurzzeitigen Schwankungen der Feuchte und Temperatur nahmen ab.

Im Winter lagen die mittleren Feuchten längerfristig über 70 % r.F. mit Maxima bis 85 %. Es zeigten sich stärkere Temperatur- und Feuchteschwankungen als im Frühling und Frühsommer. Dabei stellten sich an den unterschiedlichen Messstellen verschiedene Temperaturen ein, die bis auf 6°C zurück gingen, teilweise jedoch auch im Winter relativ hoch um 15–17°C lagen.

### 3.4 Die Strömungsverhältnisse in der Kuppel

Aus den zuvor dargestellten Klimaverhältnissen ergab sich die Frage nach den Strömungsverhältnissen insbesondere in der Kuppel, da hier bereits relativ kurze Zeit nach der Reinigungsmaßnahme erneut ein Befall wahrzunehmen war.

Die Durchführung eines Nebelversuchs ergab erste Hinweise auf eine unzureichende Lüftung in der Kuppel. Der Versuch wurde ausgeführt mit einer Nebelmaschine

(InvoLight, FM 400 Va, Italy und FogLiquid, InvoLight). Diese vernebeln ein Gemisch von Triethylenglycol/Wasser, welches Luftströmungen sichtbar macht.

Die Vernebelung erfolgte im Kirchenraum an verschiedenen Standorten und bei verschiedenen Zuständen (geschlossene bzw. geöffnete Fenster, mit oder ohne Lüftung).

Unabhängig von der Lüftungssituation wird nach diesen Ergebnissen die Kuppel nicht von der durch Lüftung erreichten Strömung erfasst, deren Einfluss nur bis in Höhe des Schriftbands reicht.

Die hohen Temperaturen an der Maleroberfläche lassen sich daher über die derzeit installierte Lüftung nicht beeinflussen.

Die Luft in der Kuppelschale unterliegt hiernach kaum einer Strömung, vermutlich weil es in dem Bereich keine ausreichend dimensionierten Öffnungen gibt. Wahrscheinlich durch geringe Temperaturunterschiede von Nord- und Südseite ergibt sich im unteren Bereich (bis zum Kuppelansatz) eine sehr geringe Strömung in Richtung auf den südlichen Bogen im Kuppelquadrat. Wird künstlich eine Strömung erzeugt (geöffnete Fenster oder Umluftheizung) steigt die Luft geringfügig schneller und höher; gelangt jedoch auch unter diesen Bedingungen nicht bis in die Kuppel.

Das Gebläse der Heizung wirkt im Altarraum nur regional und die Wirkung ist relativ scharf zur Seite hin begrenzt, die Kuppel selber wird auch durch diesen Lüftungsstrom nicht erreicht. Die beiden Luftauslassschächte im Altarraum erzeugen ungleich starke Luftbewegungen, das nördliche Gebläse ist schwächer als das südliche und es bleibt generell eine südliche Strömungsrichtung erhalten.

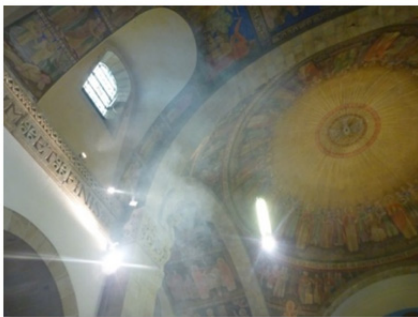


Bild 14 Ansicht zur Kuppel



Bild 15 Ansicht zum Chor

Nebelversuche belegen den nicht ausreichenden Einfluss der Lüftung.

Man kann daraus schließen, dass die warme Luft in die Kuppel aufsteigt und es ab dem Sommer und bis in den Winter durch die fehlende Entlüftungsmöglichkeit zu einem Wärmestau kommen kann. Aus den Laborexperimenten wird ersichtlich,

dass die relativ höheren Temperaturen in der Kuppel zu einer Beschleunigung des Pilzwachstums und zu einer Erhöhung der Toleranz gegenüber geringerem  $a_w$  führen.

Als Folgerung aus den Messungen im Objekt, den Ergebnissen der Laboruntersuchungen zu den Wachstumsbedingungen und den Beobachtungen der in der Kuppel erneut erfolgenden Besiedlung ergibt sich, dass warme und damit einhergehend feuchte Luft schneller aus der Kuppel abgeführt werden sollte.

Um dies zu erreichen wurden weitere Öffnungen im Bereich der Kuppel diskutiert, über die die Luft in den Dachraum entweichen könnte. Würde so eine bessere Durchlüftung erzielt, könnte die Feuchtigkeit dann nach außen abgeführt werden. Die Öffnungen sollten mit regelbaren Klappen versehen sein, um eine bedarfsgerechte Lüftung zu ermöglichen. Sollte die Abführung der feuchten Luft nicht schnell genug erfolgen, wäre der Einbau eines Ventilators denkbar.

## 4 Zusammenfassung

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt zur klimaethischen Ertüchtigung der Kirche St. Joseph in Osnabrück belegt nachdrücklich die Bedeutung eines umfangreichen Monitoringprogramms, mit dem die Auswirkungen von restauratorisch/konservatorischen Eingriffen und Sanierungsmaßnahmen längerfristig verfolgt werden sollten.

Unter den Erhaltungsaspekten war die Überarbeitung der Architekturoberflächen einschließlich der Entfernung der absperrenden und als Nahrungsquelle dienenden Anstrichsysteme auf den Oberflächen geboten, da diese im gesamten Kirchenraum für eine mehr oder weniger durchgehende Besiedlung mit Schimmelpilzen ursächlich waren.

Verstärkt wurde diese Ausbreitung durch teilweise sehr ungünstige Lüftungsverhältnisse, insbesondere ist hier der Austritt der warmen Heizungsluft hinter dem Altar zu nennen, der dazu führte, dass diese warme Luft, die in der Lage ist relativ viel Feuchtigkeit zu speichern, auf die kälteren Altaroberflächen auftraf und dort auf den durch die jahrelange Nutzung mit Staub belasteten Oberflächen zu einem massiven Schimmelwachstum führte.

Jedoch führten auch die daraus abgeleitete Änderung der Lüftungsanlage und die Abnahme der Dispersionsanstriche ebenso wie die konservatorischen Maßnahmen an der Kuppelausmalung nicht zu einem befriedigenden Ergebnis, vielmehr war bereits nach wenigen Monaten erneut eine Wiederbesiedlung im Bereich der Kuppel festzustellen.

Die durch das Institut MOCult ausgeführten Messungen zum Nahfeldklima ermöglichen es auf Basis der dort erhobenen Werte die Reaktion der relevanten Schimmelpilzarten auf das in der Kuppel herrschende Klima im Labor zu untersuchen und legen somit die Grundlage dafür, einen Klimakorridor zu definieren, der unbedingt vermieden werden muss, damit sich der Schimmel nicht weiter ausbreiten kann.

Eine zerstörungsfreie Kontrolle zur Entwicklung des Schimmels wäre durch eine in zu definierenden Abständen zu wiederholende fotografische Dokumentation unter UV-Anregung möglich, da am Objekt der befallene Bereich unter UV-Anregung aufgezeigt werden konnte und die Laboruntersuchungen bestätigten, dass beide Isolate UV aktive Stoffwechselprodukte produzieren.

Leider konnte diese Maßnahme bisher nicht durchgeführt werden.

Darüber hinaus wurde begonnen, im ganzen Kirchenraum verteilte Referenzflächen an der Architekturoberfläche auf deren mikrobielle Aktivität aber auch auf die Keimbelastung mit Ruhestadien hin zu untersuchen. Hier zeigt sich, dass zum jetzigen Zeitpunkt eine Neubesiedlung der Architekturoberflächen ausgeschlossen werden kann. Die Abnahme des Dispersionsanstrichs und das Ersetzen durch einen Kalkanstrich ohne organische Anteile bewirkt hier eine Verbesserung der Diffusionsfähigkeit der Oberflächen und stellt darüber hinaus den Mikroorganismen keine organische Nahrungsquelle zur Verfügung.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass insbesondere horizontale Flächen, auf denen der Staub liegen bleibt, regelmäßig gereinigt werden. Staubauflagerungen führen anderenfalls zu einer Feuchteanreicherung [6] und dienen auch als Substrat.

Ein längerfristig angelegtes Monitoringprogramm sollte somit den nachhaltigen Effekt der Maßnahmen belegen und als Grundlage für ähnliche Situationen in anderen Sakralräumen dienen.

## 5 Literatur

- [1] Becker, Nadine: ATP-Messungen an Archiv- und Bibliotheksgut. Eine Möglichkeit zur Feststellung mikrobieller Aktivität? Bachelor Thesis, HAWK Hildesheim, 2007.
- [2] Töpfer, Ilka: Untersuchungen zur Anwendbarkeit ausgewählter Schnelltests zur Beurteilung der mikrobiellen Besiedlung von Kunst und Kulturgut - Diplomarbeit FB7 Dipl.-Biol., Universität Oldenburg, 1998.
- [3] Petersen, K.: Aspects of Microbial „Subsurface colonization“ of Mural Paintings, in: Restauratorenblätter, 16, Wien 1995, S. 103–110.

- [4] Heyn, Christiane Heyn, C./Petersen, K./Krumbein, W.E.: Untersuchungen zum mikrobiellen Abbau in der Denkmalpflege eingesetzter synthetischer Polymere, in: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 10 (1), 1996, S. 87–105.
- [5] Florian, Mary-Lou E.: Fungal facts: solving fungal problems in heritage collections. London: Archetype Publications Ltd., 2002.
- [6] Spiegel, Claudia: Staub als Wachstumsfaktor und Nährmedium für Mikroorganismen. Bachelor Thesis, HAWK Hildesheim, 2007.



# Restauratorische Begleitung von Klimamessungen und naturwissenschaftliche Untersuchungen

*Dr. Dörthe Jakobs, Landesamt für Denkmalpflege Baden-Württemberg*

## 1 Einleitung

An vielen Projekten der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, die sich mit Denkmälern und Kulturgüterschutz befassen, sind Denkmalpfleger und Restauratoren mit beteiligt. Im Fall der Raumschale und Wandmalereien von St. Josef fanden Voruntersuchungen im Vorfeld des DBU-Projektes statt, später kamen auch Maßnahmen an der Raumschale und an den Wandmalereien zur Ausführung, die eine langfristige Erhaltung des Bestandes zum Ziel hatten (Bild 1). Ich verweise hier auf die Beiträge der Kollegen Eike Dehn und Josef Eichholz. Eine vom Umfang her eher untergeordnete und im gesamten Verlauf „späte“ Rolle fiel der Beratung der restauratorischen Begleitung der Klimamessungen und eines Teils der naturwissenschaftlichen Untersuchungen in diesem Projekt zu.



Bild 1 Hebebühne im Innenraum  
(April 2014, Foto: Dörthe Jakobs).

Für Klimamessungen an denkmalgeschützten Objekten ist eine restauratorische Begleitung heutzutage Standard, da es dabei meist auch um sehr empfindliche Oberflächen geht. Das ist bei Wandmalereien, bei Gemälden und Skulpturen eben-



so der Fall, wie bei allen Arten von Architekturoberflächen mit und ohne historische Putze und Ausstattungen. Ohne soll heißen, dass bspw. auch Betonoberflächen als Sichtflächen konzipiert oder gefasst nicht minder empfindlich sind.

Auch naturwissenschaftliche Untersuchungen im Bereich der Denkmalpflege werden in der Regel restauratorisch begleitet, da die Restauratoren die Objekte und deren Empfindlichkeiten kennen und auch mit den Fragestellungen vertraut sind, die an das Objekt gerichtet werden. Sie kennen zudem die Schadensbereiche und wissen in welchen Bereichen gegebenenfalls eine Probeentnahme zu Analysezwecken am ehesten vertretbar ist.

## 2 Dokumentation

Grundlagen für jede Maßnahme an einem Objekt sind heute die Bestandsaufnahme und eine damit verbundene Dokumentation des Objektes in Wort und Bild. Ich möchte nun an dieser Stelle keineswegs die Vielfalt der heutigen Dokumentationsmöglichkeiten bis hin zur digitalen und virtuellen 3D-Welt nachzeichnen (und die Flut der damit verbundenen Publikationen), sondern nur auf die banal anmutenden Abläufe verweisen, die unser Handeln am Objekt auch für eine nachfolgende Generation nachvollziehbar gestalten [vgl. hierzu ohne Anspruch auf Vollständigkeit 1, 2, 3, 4]. In den meisten Fällen werden mit Beginn der Planung an einem Projekt Pläne erstellt, die die Grundlage für die verschiedenen Kartierungen von Restauratoren, Naturwissenschaftlern und allen am Objekt tätigen Disziplinen bilden. Im Fall von Architekturoberflächen und zu restaurierenden Wandmalereien sind das in der Regel Übersichtspläne mit der Abwicklung der Wand- und Gewölbeflächen. Denn nicht nur Bestand, Zustand, Schäden und Maßnahmen sind im Projektverlauf zu kartieren, sondern auch sämtliche an den Oberflächen oder in die Tiefe gehenden Untersuchungen und ihre Ergebnisse (vgl. Beiträge Dehn/Eichholz). Was für die Restauratoren selbstverständlich ist, bedarf dennoch im Rahmen mancher Projektplanungen an Vermittlungsarbeit, wird doch häufig seitens der Bauherrschaft und der Architekten mit dem Argument der Kosten auf diese Grundlagenarbeit verzichtet. Was am Anfang zu teuer erscheint, rächt sich dann spätestens im Nachhinein, wenn aufgrund von Einsparungen an falscher Stelle keine Planungssicherheit hergestellt werden kann.

Für Klimamessungen gleichermaßen wie für naturwissenschaftliche Untersuchungen oder Probeentnahmen ist die Lokalisierung der ermittelten Daten auch für zukünftige Eingriffe oder Bewertungen von entscheidender Bedeutung. Jedes Monitoring bedarf einer nachvollziehbaren Erfassung und Dokumentation, um überhaupt auch die in Zukunft gerichteten Vergleichsdaten erheben zu können [wegweisend: 5].

Dazu noch eine Anmerkung am Rande: für bestimmte Untersuchungsverfahren und ihre Dokumentation, wie auch für manche komplexe Maßnahmen ist eine stabile Arbeitsebene unverzichtbar. Im Einzelfall wird man in Abhängigkeit von Art und Umfang der Aufgaben entscheiden müssen, ob die Wahl auf eine Hebebühne fällt oder eine Einrüstung erforderlich ist. Die Hebebühne mag als Wirtschaftsfaktor eine große Bedeutung für Sanierungsaufgaben an Großprojekten ihren Sinn haben, wie sie auch im Zuge von Wartungen und Voruntersuchungen unverzichtbar ist. Sie mag auch noch eine Daseinsberechtigung für unkomplizierte Reinigungsverfahren an Architekturoberflächen haben, den ersten Preis für die Qualitätssteigerung in der Restaurierung bei komplexen Konservierungsarbeiten an hochempfindlichen Wandmalereien wird sie jedoch nicht gewinnen können. Dazu gehört auch, dass Hebebühnen für bestimmte Dokumentationsformen, bspw. der Fotografie im ultraviolett Licht, aufgrund der heute noch notwendigen Belichtungszeiten nicht brauchbar sind.

### 3 Anbringung der Sonden für Klimamessungen

Ein Thema der restauratorischen Beratung der Klimamessungen in St. Josef war das Einbringen bisheriger Erfahrungen von anderen Projekten im Zusammenhang mit der Anbringung von Messsonden an empfindlichen Oberflächen.

Im Fall von St. Josef in Osnabrück wurden kabelbasierte Sonden zur Klimaerfassung (Raum, Nahfeld und Oberflächenklima) verwendet. Für Nahfeld- und Oberflächenmessungen müssen zahlreiche Sonden an den Architekturoberflächen und mitunter eben auch an den Wandmalereien befestigt werden. Hierzu bedarf es reversibler Befestigungssysteme, die den empfindlichen Oberflächen keine Beschädigungen zufügen. Eine Standardlösung für jeden Fall gibt es bisher nicht, dagegen wird man auch hier in Abhängigkeit des Materials und der Mal- oder Fassungstechnik und der Frage der Messdauer immer individuelle Entscheidungen treffen müssen.

Bewährt hat sich die Anbringung der Sonden mittels Cyclododekan, einem flüchtigen Bindemittel, das zur Stoffgruppe der alicyclischen Kohlenwasserstoffe gehört und rückstandslos sublimiert [6, 7].

Auch für Probleme der Verflüchtigung hat sich eine – zumindest temporäre – Lösung gefunden. Nach dem dreifachen Auftrag einer Cyclododekan-Schmelze im Bereich von ca. 5 x 6 cm wird der Bereich mit einem ca. 4 x 5 cm breiten Aluklebeband abgedeckt, so dass das Material sich nur noch langsam an den Seiten verflüchtigen kann. Auf die Folie werden dann die Sonden gelegt. Diese werden mit einem minimal größeren Aluklebeband eingebunden und abgeklebt. Dabei muss sichergestellt sein, dass die zweilagigen Aluklebebänder nur im Bereich der dreifach aufgetragenen Schmelze haften und diesen Bereich nicht überlappen [8]. Auf diese

Weise können die Sonden über drei Jahre haften bleiben, in der Regel sogar länger (Bild 2). Bei sehr porösen Systemen empfehlen sich eine Vorfestigung mittels verdünntem Cyclododekan und nachfolgend der mehrfache Auftrag der Schmelze.



Bild 2 links: Messsonden zur Erfassung von Oberflächen- und Nahfeldklimate in der Bildszene der Erweckung des Lazarus in St. Georg auf der Insel Reichenau  
rechts: Detailaufnahme der Messsonden (Januar 2012, Foto Dörthe Jakobs)

Für längere Messzeiten müssen entweder alternative Materialien in Abhängigkeit der Materialität der Oberflächen ausgewählt werden oder – wie am Projekt St. Georg auf der Insel Reichenau – die Sonden wiederholt mit Cyclododekan befestigt werden. Über eine Hebebühne werden die Sonden hier im Rahmen eines bestehenden Monitorings regelmäßig kontrolliert.

Bei der Abnahme der Sonden – auch um diese längerfristig wieder im gleichen Verfahren wie oben beschrieben zu befestigen – dürfen diese weder aus der Alufolie gerissen, noch darf die Folie berührt werden. Hier besteht die Gefahr, dass in den Bereichen, wo das Cyclododekan bereits sublimiert ist, die Folie an der Oberfläche anhaftet. Daher sollten Sonden und Folie möglichst berührungsfrei entfernt werden, was durch leichte Warmluftzufuhr an den Seiten der Folie erfolgen kann. Damit wird die Verflüchtigung des Cyclododekan beschleunigt und die Befestigung fällt von alleine herab.

## 4 Naturwissenschaftliche Untersuchungen

Die mikrobiologischen Untersuchungen im Rahmen des DBU-Projektes Osnabrück St. Josef wurden von Karin Petersen durchgeführt, auch hier darf ich auf ihren Beitrag im vorliegenden Band verweisen. Eine restauratorische Begleitung seitens der Autorin fand nur an zwei Projekttagen im Oktober 2015 statt. Bei der Serie der Probeentnahmen in der „Pfungstkuppel“ auf Höhe der Aposteldarstellungen von Bernhard Riepe ging es um eine optische Kontrolle des mikrobiellen Befalls sowie um eine fotografische Dokumentation, soweit dies von einer Hebebühne in ca. 12–

14 m Höhe möglich ist. Letzteres betrifft insbesondere die Möglichkeit von UV-Fluoreszenzaufnahmen, die bei längeren Belichtungen mitunter bereits schwierig von einem Gerüst aus zu machen sind [9]. Mit der zur Verfügung stehenden Technik waren somit nur kleinste Kontrollausschnitte zu dokumentieren, eine umfangreiche UV-Dokumentation, grundlegend auch für ein zukünftiges Monitoring, konnte aus Kostengründen nicht realisiert werden (Bild 3).

Für das Erkennen und Dokumentieren von mikrobiellem Befall sind Untersuchungen im ultravioletten Licht sehr hilfreich, da viele Pilze und Bakterien im Bereich der ultravioletten Strahlung Fluoreszenzen aufweisen (Bild 4). Dies ist kein Hinweis auf ihre Aktivität, sondern dient lediglich der Sichtbarmachung eines alten oder neuen Befalls [ausführlich 10].

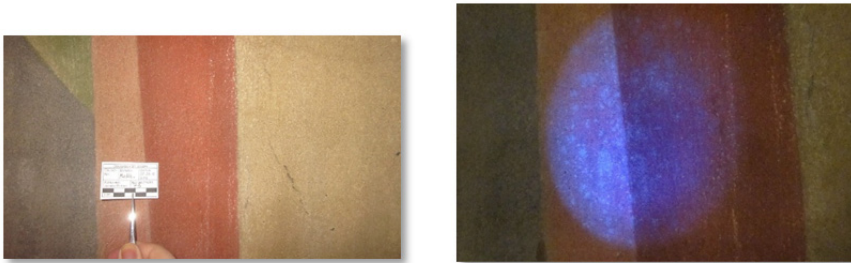


Bild 3 links: Osnabrück, St. Joseph, begleitende Fotodokumentation von Probeentnahmen zur mikrobiologischen Untersuchung  
rechts: Aufnahme unter UV-Licht, Oktober 2015 (Fotos: Dörthe Jakobs)

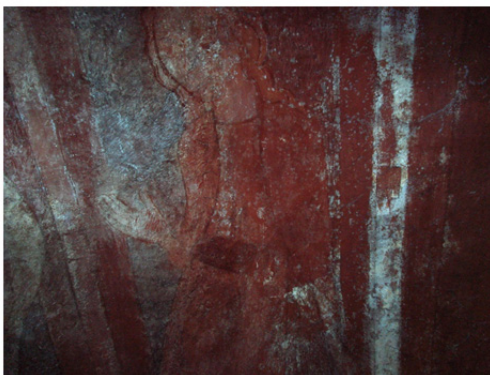


Bild 4 Veringendorf, St. Michael, Wandmalereien im Chor, deutlich sichtbare Fluoreszenzen im Bereich von biologischem Befall (Januar 2016, Foto: Dörthe Jakobs)

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der beratenden restauratorischen Begleitung der Klimamessungen und der naturwissenschaftlichen Untersuchungen in der Kirche St. Joseph war es, bei der Ausarbeitung des Messkonzeptes für das Klimamonitoring wie auch bei der Probenahme für das mikrobiologische Untersuchungsprogramm die Erfahrungen aus anderen Vorhaben mit einer klimabedingten Beanspruchung einzuspeisen. Zudem sollten im Kontext der Zustandsuntersuchungen im Projektverlauf die Folgen der Maßnahmen einer thermischen Konditionierung und Belüftung des Kirchenraumes in ihrer Bewertung begleitet werden. Besonders Interessant war dabei die Frage, inwieweit eine Grundlasttemperierung mittels Fußbodenheizung einen Beitrag leisten kann, die raumklimatische Beanspruchung der Malerei zu begrenzen. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass mit den im Projektverlauf des DBU-Vorhabens herausgearbeiteten Maßnahmen eine Verbesserung des aufeinander abzustimmenden Betriebs der Fußboden- und Warmluftheizung wie auch eine Stabilisierung der Raumklimaverhältnisse im Nahfeld der Malerei erreicht werden konnten. Auch belegen die mikrobiologischen Untersuchungen von Karin Petersen, dass durch eine Stabilisierung des Raumklimas auf einem geeigneten Niveau von Temperatur und relativer Feuchte im Nahfeld der Malerei eine Schädigung der Malerei weitestgehend ausgeschlossen werden kann. Dennoch sollten die Malereien in Anbetracht des künftigen Betriebs der Fensteröffnungs- und Fensterschließvorgänge, des Heizbetriebs und der ergriffenen baulichen und technischen Maßnahmen zur Optimierung der Raumklimasituation in festgelegten Wartungsintervallen kontrolliert werden.

## 6 Literatur

- [1] Grundlagen wissenschaftlicher Konservierungs- und Restaurierungskonzepte–Hinweise für die Praxis. In: Erfassen und Dokumentieren im Denkmalschutz (Schriften des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Bd. 16), Dokumentation des Colloquiums 4./5. März 1982, Stuttgart, S. 177ff.
- [2] Anforderungen an die Dokumentation restauratorischer Leistungen in der Denkmalpflege. Arbeitsmaterialien zur Denkmalpflege Bd.3, hg. vom Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie, Fulda 2008.
- [3] Leitfaden Zustandserhebung und Monitoring an Wandmalerei und Architektur-oberflächen, hg. vom Bundesdenkmalamt Wien 2012.

- [4] Im Rahmen eines laufenden DBU-Projektes „Raumklimastabilisierung zum Erhalt der durch anthropogene Umwelteinflüsse im Bestand gefährdeten Wandmalereien in der Kirche St. Georg – UNESCO-Weltkulturerbe Klosterinsel Reichenau“ findet auf der Insel Reichenau vom 22. bis 24. März 2017 ein Kolloquium statt, zu dem auch eine Publikation vorliegen wird. Hier werden auch grundlegende Anforderungen an die Dokumentation sowie Erfahrungen aus der vor 35 Jahren erstellten wegweisenden Dokumentation für ein Monitoring an den Wandmalereien von St. Georg Eingang finden.
- [5] Forschungsprojekt Wandmalerei-Schäden. Ein Förderprojekt des Bundesministers für Forschung und Technologie. Schlussbericht zu den interdisziplinären Befunden (Arbeitshefte zur Denkmalpflege in Niedersachsen 11), Hannover 1994.
- [6] Hans Michael Hangleiter, Elisabeth Jägers, Erhard Jägers: Flüchtige Bindemittel, Teil I: Anwendungen, Teil II: Materialien und Materialeigenschaften. In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 2/1995, S. 385 ff.
- [7] Hans Michael Hangleiter, Erfahrungen mit flüchtigen Bindemitteln. In: Restauro 5, 1998, S. 314ff. und Restauro 7, 1998, S. 468ff.
- [8] Das Verfahren zur Befestigung der Sonden wurde mit Hans Michael Hangleiter entwickelt und in St. Georg auf der Insel Reichenau ab 2011 angewendet. Es ist m.W. bisher nicht publiziert.
- [9] Roland Lenz, UV-Fluoreszenzuntersuchung und deren fotografische Dokumentation, Tagung Esslingen 9. Dezember 2016 (Kein Berühren der Figuren. Untersuchen und Reinigen mit Abstand). Eine Publikation ist im Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege Baden-Württemberg 2017 geplant.
- [10] Karin Petersen, Befall reduzieren. Möglichkeiten der Prävention und Abtötung von Schimmel. In: Restauro 7, 2016, S. 48–51 mit weiterführender Literatur.



## Partizipative Energie

*Ulrich Recker, Architekt*

Zum Umbau der Kirche St. Joseph - Osnabrück ist die Beteiligung der Gemeindemitglieder am gestalterischen und baulichen Konzept überaus bedeutsam gewesen:

**teilhaben, mitmachen, gestalten und spannend und offen diskutieren**

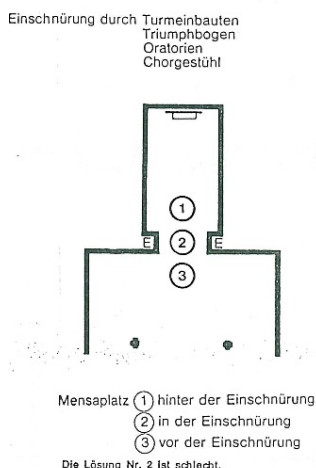
waren nicht nur Schlagworte (siehe hierzu Bild 10: ein Beispiel von 2001 für ein anderes Neuordnungskonzept).

Das 2. Vatikanische Konzil und deren Empfehlungen, wenn eine Neuordnung des Kirchenraumes und des Altares ansteht, aber auch die Verlautbarung des Apostolischen Stuhls Nr. 187 von Papst Benedikt XVI. über das Wort Gottes im Leben und in der Sendung der Kirche, Seiten 106–107 über **Das Wort und die Stille**, waren wesentliche Grundlagen um die Umgestaltung zu schaffen.

### Die Empfehlungen zur Neuordnung

Kann bei Abtragung des alten Altares ein neuer eingerichtet werden, dann soll die Vorziehung der Mensa entschieden geschehen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Mensa nicht an die Stelle der größten Raummenge gestellt wird, also nicht zwischen

Vierungspfeilern, Chorgestühl o.ä.; dadurch würde nämlich eine unangenehme Abschnürung der Raumteile für den Betrachter aus der Mitte des Raumes entstehen. In der beigegeben Skizze scheidet darum die Lösung 2 aus. Nach Möglichkeit wird man die Lösung 3 wählen. Um die Offenheit und Weite des Raumbestandes zu wahren, ist die Stellung bei 1 eher erträglich als bei 2. Ein Beispiel für Lösung 1 wird auf der Bildseite 3 gegeben (für Wien Reindorf): der Neuordnungsvorschlag für Passau St. Nikola (vgl. Skizze S. 63) ist ein Beispiel für Lösung 3.



**Bild 1** Neuordnung durch Einschnürung zwischen Chor und Gemeinde



Bei der Neuordnung einer Vierung empfiehlt sich oft die Aufstellung des vorgezogenen Altars nicht genau im Zentrum der Vierung, sondern eher etwas gegen das ehemalige Presbyterium. Auch hier ist die Stelle zwischen den Pfeilern des Chorbogens zu meiden. Für die Wahl der weiteren Funktionsorte ist dann die entsprechende Hierarchie der Raumstellen in Bezug zur Achse des Hauptschiffes zu beachten. Die Schemata der nebenstehenden Seite zeigen verschiedene Möglichkeiten der Anordnung für die einzelnen Funktionsorte in der Reihenfolge ihrer Rangordnung, wenn sie von der Mitte der Gemeinde her in Beziehung zur Mensa beurteilt werden.

(aus der Reihe: „Lebendiger Gottesdienst – Kirchenraum, Heft 12“ von H. Muck)

### Ebenso als Grafik der Vergleich: Innere und Äußere Werte



Bild 2 Räume der Seele als „innere“ Werte

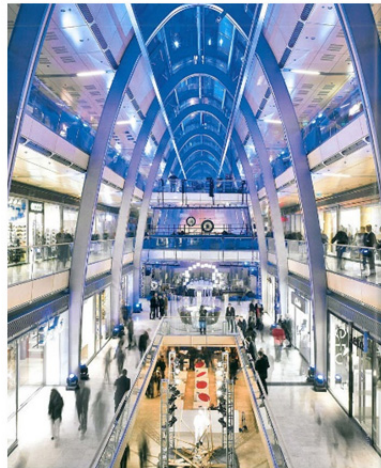


Bild 3 Räume der Massenkommunikationsmittel als „äußere“ Werte

Um den Kirchenraum für eine neue Nutzung, und zwar der eines Pfarrheimes, vorzubereiten, waren zunächst Bestandsanalysen nötig, die als Architekturanalyse beigelegt sind:

Zustand 1919, Bestand 2010, Architekturanalyse (siehe Bilder 4 bis 6).

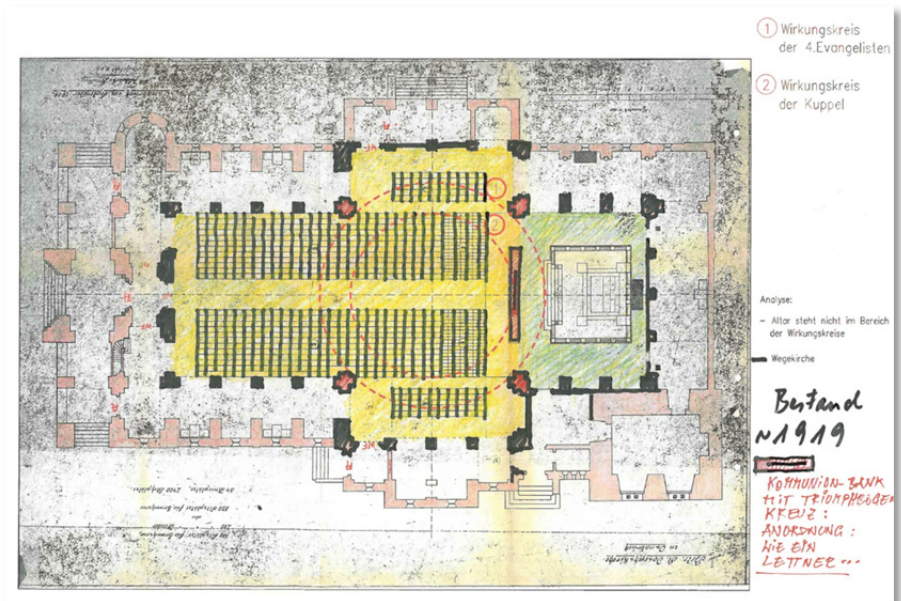


Bild 4 Gebäudebestand 1919

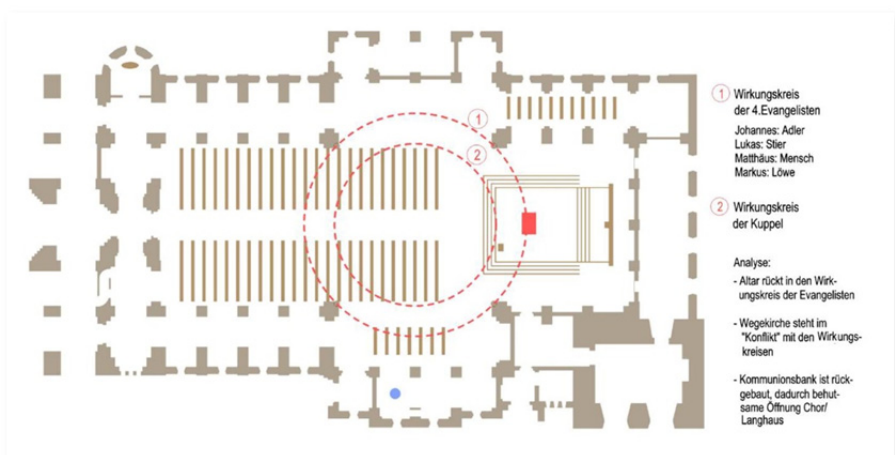


Bild 5 Heutiger Bestand der Kath. Kirche St. Joseph (2010) – Darstellung des Erdgeschosses

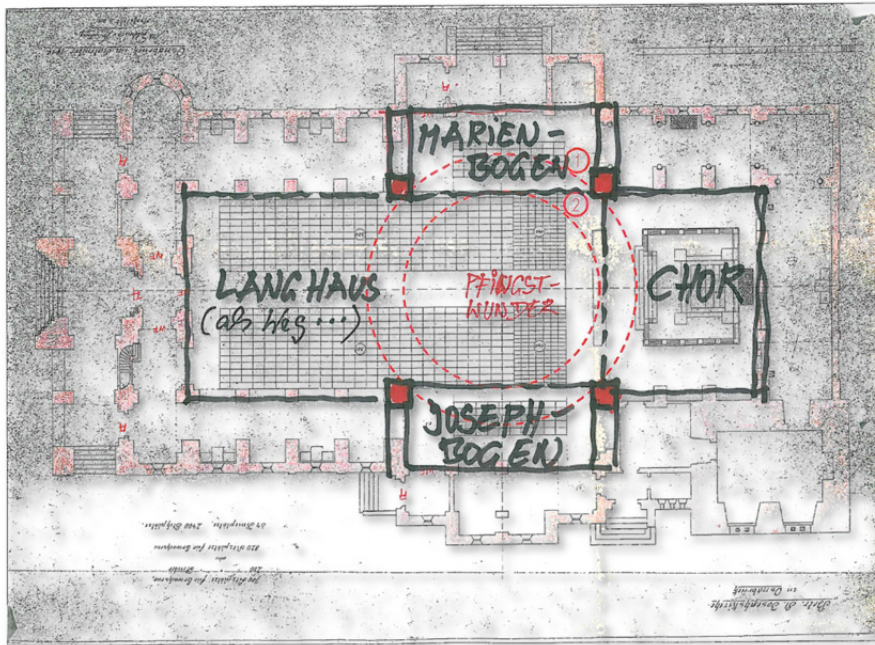


Bild 6 Architekturanalyse des Kirchengebäudes

Die vier Evangelisten als die vier Säulen der Kuppel mit dem „Pfungstwunder“ bilden die Eckpfeiler/tragenden „Steine“ der Kirche! Als Architekturelement: Die Vierung  
Der architektonische Mittelpunkt ist die Kuppel (zur Bauzeit eine der größten in Deutschland) mit der Darstellung des Pfungstwunders.

Aus dieser Überlegung erfolgte dann die Teilung der Gebäudenutzung:

- in eine Kirchliche Nutzung und
- in eine Pfarrheim-Nutzung.

**Die Teilung bewirkte eine eindeutige Liturgiefeier in der Mitte der Gemeinde, der Evangelisten, des Pfungstwunders, des Wortes und der Stille.**

**Neuordnung** (vgl. Bilder 7 und 8)

**Grundlage:** Der leere Raum bzw. die vier Evangelisten bilden die Grundlage für ein neues Konzept mit dem Pfungstwunder, für ein neues Miteinander

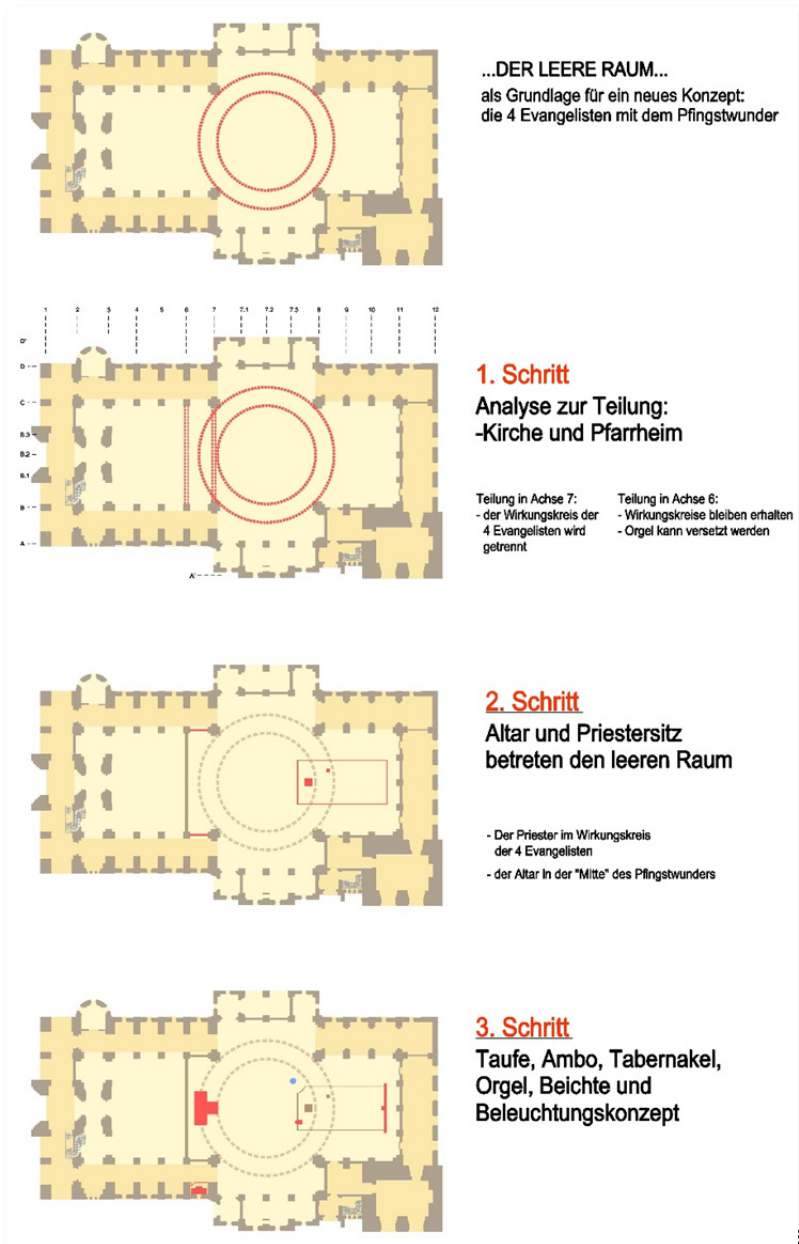


Bild 7 Schritte 1–3 der Neuordnung des Kirchenraumes

**1. Schritt:** Analyse zur Teilung Kirche/Pfarrheim

**2. Schritt:** Der Altar und der Priestersitz betreten den leeren Raum:

- Der Priester im Wirkungskreis der vier Evangelisten
- Der Altar in der „Mitte“ des Pfingstwunders, der Mitte der Gemeindeversammlung (die geometrische Mitte ist hiermit nicht gemeint)

**3. Schritt:** Der Ambo, als Tisch des Wortes, rückt noch weiter ins Kuppelzentrum und damit noch enger in die Gemeinde-Versammlung. Mit diesem Schritt werden auch die Taufe, der Tabernakel, die Beichte und das Beleuchtungskonzept in die Neuordnung eingestellt.

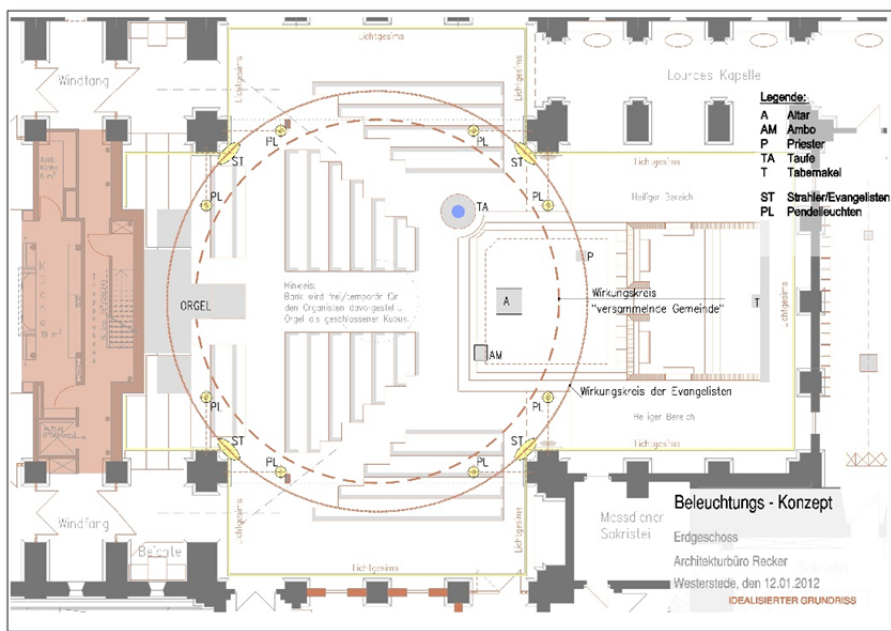


Bild 8 Beleuchtungskonzept der Kirche St. Joseph

**4. Schritt:** Die Messfeier (siehe Bild 9)

- 4.1) Der Priester hält Einzug zur Messfeier durch die Gemeinde und wird damit als Vorsteher der Gemeinde ein Teil von ihr (Stichwort: Miteinander teilhaben...)
- 4.2) Die Gemeinde versammeln sich U-förmig um den Altar und hebt den ehemaligen Charakter der Wegekirche auf. Zwar



nicht gänzlich, aber fast alle Gemeindemitglieder einschl. der Primärorte versammeln sich unter dem Wirkungskreis des Pfingstwunders

- 4.3) Die Beleuchtung folgt dem Versammlungsgedanken:
- 4.3a) Als Strahler über die vier Evangelisten
- 4.3b) Als Pendelleuchten im Wirkungskreis der Evangelisten
- 4.3c) Die Kuppel bleibt dennoch frei von Pendelleuchten oder Einbaustrahlern (vgl. Bild 8)

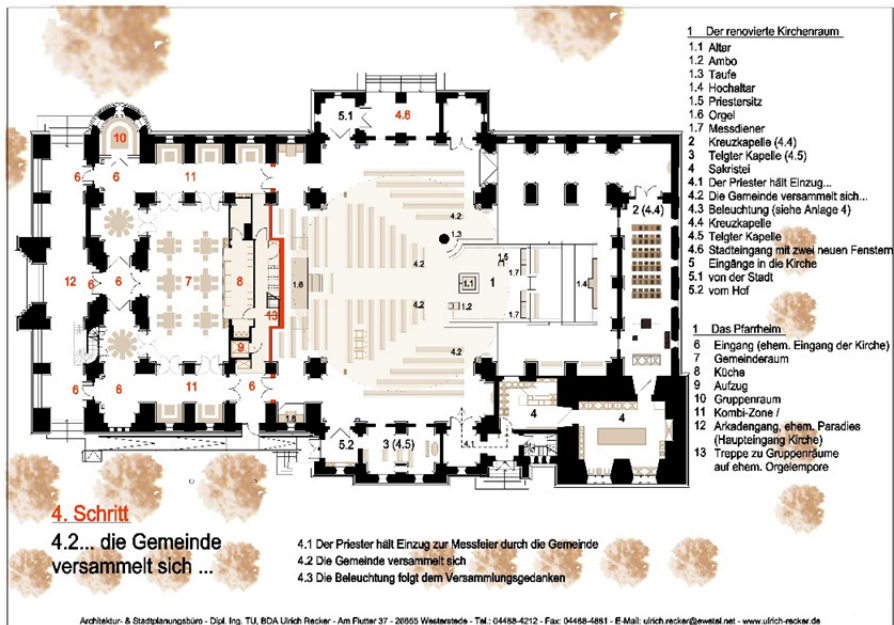


Bild 9 Die Liturgiefeier

## Weitere, begleitende Einrichtungen

- 4.4) Um Energie einzusparen, wurde der Abstellraum hinter der Chorwand zu einem kleinen Kapellenraum umgestaltet
- 4.5) Ebenfalls erhält der Hofeingang eine kleine Kapelle zur Andacht und des stillen Gebetes, die während der Messfeier auch von Kindern genutzt werden kann (Telgter Kapelle).

- 4.6) Die Nordseite des Querschiffes wird zum Stadteingang aufgewertet und erhält deshalb zwei neue Fenster als Gegenüber des Hofeinganges (Fenster Telgter Kapelle)

### **Pfarrheim Einbau**

Der Einbau des neuen Pfarrheims setzte eine sehr aktive Teilnahme der Gemeindeglieder voraus:

**Sollte hier doch auch die gewohnte Karnevalsveranstaltung stattfinden, behindertengerecht sein und, und ...**

**Kurz gefasst:** Es ist gelungen, trotz aller Eingewöhnungs-Schwierigkeiten und der Vorgabe: Der ehemals kirchliche Raum muss im Pfarrheim nacherlebbar sein.

**Deshalb:** Ein Besuch lohnt sich und lässt den Weg einer Gemeinde zu einer eigentlich neuen Kirche nacherleben im Sinne von:

Ein Einzelner kann sehr viel „bewegen“, aber eine Gemeinschaft bewegt wesentlich mehr und dankt es über Jahre, wenn die Teilhabe an so einem Projekt nicht nur bei einzelnen Personen Halt gemacht hat!

Denn, die Energie der Partizipation lässt sich ja nicht wissenschaftlich messen, allenfalls in der Eigenarbeit und den Stunden des Mitmachens, der Teilnahme, des Mitgestalten (Beispiele: Farbgestaltung der Kapellen, der Küchentechnik und Einrichtung, der Diskussionen um Beleuchtungsformen usw.).

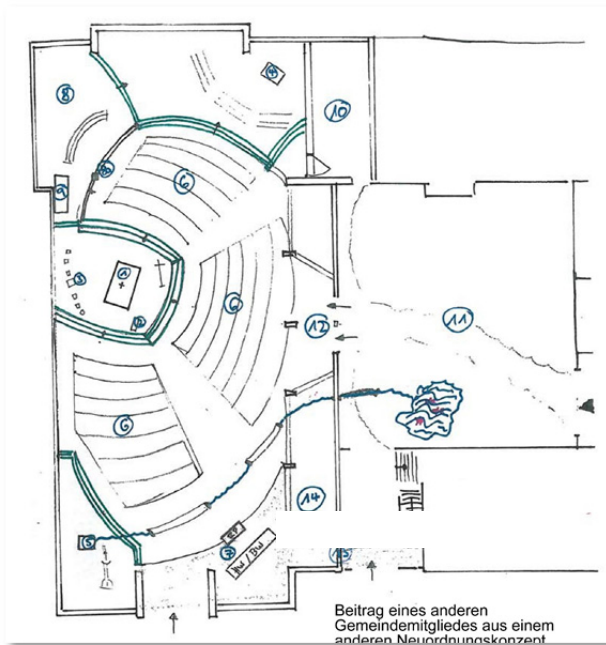


Bild 10 Beitrag aus einer anderen Kirche zum Thema: mitmachen, teilnehmen, mitgestalten - ein Beispiel aus einem anderen Neuordnungskonzept von 2001





# Raumklimaaoptimierung und Energieeffizienz im Baudenkmal

## Bedeutung gebäudetechnischer Konzepte und Potenziale von Energiespeichern

*Prof. Harald Garrecht, Christian Renner, Simone Reeb, MOCult, IWB – Universität Stuttgart*

**Abstract:** Um den für die Temperierung von Kirchenbauwerken erforderlichen Energieeinsatz soweit als möglich zu begrenzen, wurde im DBU-Vorhaben im Zuge der baulichen Maßnahmen zur liturgischen Neugestaltung des Kirchenraums unterhalb des im Altarbereich neu zu verlegenden Natursteinbodens eine Fußbodenheizung eingelegt. Die Verfasser erwarteten, dass es mit einer ergänzend zur vorhandenen Warmluftheizung implementierten Fußbodenheizung möglich sein sollte, die Grundlast zur Temperierung des Kirchenraumes sicher zu stellen. Vorteilhaft wäre es, wenn größere Temperaturschwankungen der Raumtemperatur und damit auch im unmittelbaren Nahfeld der Malereien einhergehende Feuchteschwankungen vermieden werden können, wie diese vielfach in Verbindung mit Luftheizungen infolge eines intermittierenden Betriebs zu verzeichnen sind. Letzteres soll gerade durch eine Grundtemperierung des Raumes mittels Fußbodenheizung sichergestellt werden. Bekanntlich geben Flächenheizsysteme den größten Teil der Wärme in Form von Wärmestrahlung an den Raum ab. Doch ein Teil der abgegebenen Wärme wird auch in Form von Konvektion an den Raum abgeführt. Streicht die Raumluft am erwärmten Boden entlang, führt dies zu einer Erwärmung der Luft und infolge der dabei abnehmenden Dichte steigt die Warmluft in höhere Raumbereiche auf.

Zudem war im Vorhaben angedacht, mit Bezugnahme auf das Architekturkonzept, alle im Umfeld der Kirche St. Joseph verfügbaren Umweltenergien, die in Form solarthermischer Energien mittels Kollektoren gegebenenfalls gewinnbare Wärme, über die Fußbodenheizung dem Raum zuzuführen. Für den Fall, dass die Wärme wegen fehlenden Wärmebedarfs nicht direkt genutzt werden kann, sollte die Wärme im Keller in thermische Energiespeicher zwischengespeichert werden. So sollen in der Kellergeschossebene kleinere Speichereinheiten installiert werden.

Entsprechend sollte im Vorhaben exemplarisch die Möglichkeit der thermischen Energiespeicherung im Kellergeschoss des Kirchenbaus untersucht werden. Folglich wurde ein Modellspeicher im Rahmendes DBU-Vorhabens aufgebaut und erprobt, um festzustellen, ob in Verbindung mit sogenannten Phasenwechselmaterialien als Speichermedium, die während sonnenreicher Tage im Frühjahr, Spätsommer und Herbst gewinnbare Solarenergie für die Unterstützung der Beheizung der Kirche nutzbar gemacht werden kann, in dem an sonnenreichen Tagen die verfügbare Umweltenergie mittels solarthermischer Anlagen gesammelt und in die thermischen Speicher eingelagert wird. In den darauffolgenden kälteren Witterungsperiode könnte die zwischengespeicherte Wärme dann zur Beheizung des Kirchenraumes genutzt werden, indem die Speicherwärme über die Fußbodenheizung, wie sie im Umfeld des Altars angeordnet wurde, dem Raum während der kälteren Herbst- und Wintertage zugeführt würde.

Ob dieser Gedankenansatz technisch umsetzbar, nutzbringend zur Wärmespeicherung anwendbar und darüber hinaus auch wirtschaftlich darstellbar ist, sollte im Rahmen des DBU-Vorhabens analysiert werden, in dem ein modellhafter Speicher auf Basis von PCM (Phase-Change Material) als Speichermedium im Keller der Kirche St. Joseph realisiert und hinsichtlich der Speicherdynamik beim Be- und Entladen untersucht werden sollte.

## **1 Bedeutung und Potenziale von thermischen Energiespeichern**

### **1.1 Überlegungen zur Nutzung von Erneuerbaren Energien in Großkirchen am Beispiel der Kirche St. Joseph**

Energiespeichern kommt mit zunehmender Residuallastproblematik, wie sie mit einer fortschreitenden Umsetzung der Energiewendeziele in den Stromnetzen zu erwarten ist, eine zentrale Bedeutung zu. Schon heute erfordern innovative Energiekonzepte, die eine Maximierung der Effizienzsteigerung sowie die Einbindung und Nutzung aller im Umfeld verfügbaren Erneuerbaren Energien anstreben, den Einsatz thermischer Energiespeicher, deren kontrollierte Be- und Entladung abhängig der Angebote und Bedarfe von thermischen und elektrischen Energien im Sinne eines effizienten Betriebs von Gebäuden, Anlagen und Quartieren intelligent zu regeln ist.

Im DBU-Vorhaben sollte für die Kirche St. Joseph exemplarisch untersucht und erprobt werden, ob thermische Energiespeicher gerade in denkmalgeschützten Gebäuden, so der Großkirche St. Joseph, interessante und zukunftsfähige Möglichkeiten bieten, um im Umfeld des Bauwerks gesammelte Erneuerbare Energien in

thermischen Speichern bis zu deren Verwendung sinnvoll zwischengelagert werden können, um dann in der darauffolgenden Kälteperiode zur Temperierung genutzt werden zu können. Entsprechend sollte ein Demonstrator im Kellerbereich der Kirche realisiert und erprobt werden, um zu prüfen, inwieweit thermische Energiespeicher einen Beitrag zur energetischen Autarkie leisten können, wenn im Umfeld der Kirche Erneuerbare Energien anstehen und mittels solarthermischer Anlagen gewonnen werden sollen.

Um die Potenziale der Kopplung von „solaren Erzeugern“ und „thermischen Speichern“ bewerten zu können, wurde ein ganzheitlicher Grundansatz dem Vorhaben vorangestellt. So war ursprünglich angedacht, benachbart der Kirche eine Reihenbebauung vorzunehmen, um Wohnraum zu schaffen. Die Überlegungen sahen des Weiteren vor, auf den Dachflächen solarthermische Anlagen zu installieren. Die hiermit gewinnbaren Solarenergien sollten dann an das Kirchenbauwerk übergeben werden, um mit den übergebenen Wärmemengen einen Beitrag zur Temperierung der Kirche zu leisten. Da insbesondere während der warmen Witterungsperioden große Mengen an solarthermischer Energie gewonnen werden kann, bedarf es großvolumiger und besonders effizienter wie auch verlustarmer Speicher, um die solare Wärme solange zwischenspeichern zu können, bis die Wärme zur Temperierung der Kirche in den kühleren bzw. kalten Witterungsperioden benötigt wird.

Im Falle der Kirche St. Joseph ließe sich ein großes Speichervolumen realisieren, da die Kirche gänzlich unterkellert ist und große Teile des Kellers zum Aufbau von thermischen Energiespeichern genutzt werden könnten. Wärmeverluste der Speicher würden unmittelbar der Kirche zugutekommen, da nach einer thermischen Aufladung des Erdreichs unter den Speichern weitere Wärmeverluste direkt das Mauerwerk und die Kellerdecke erwärmen würden, so dass der Kirchenboden in den Herbstmonaten bereits eine wärmere Bodentemperatur aufweisen würde und bereits als massiver Wärmespeicher wirken würde.

Auch wenn der Grundgedanke verdeutlichte, dass die Wärmeverluste der Speicher dem Gebäude zugutekommen würden, so war doch auch klar, dass diese Verluste dennoch minimal bleiben sollten, schließlich würde bei hohen Speichertemperaturen und den einhergehenden höheren Verlusten der Boden kirchenseitig ansonsten so hohe Oberflächentemperaturen annehmen, dass dies nicht nur für das Raumklima, sondern auch für das Behaglichkeitsempfinden der Besucher nachteilig wäre. Wie im Späteren erläutert wird, wurde aber auch aus Gründen des LowEx-Konzeptansatzes ein Speichertemperaturniveau gesucht, das erlaubt, das Speichermedium direkt, d.h. ohne weitere Konditionierung, den Fußbodenheizregistern zuzuführen. Entsprechend sollte ein Speichertemperaturniveau von 38°C bis 45°C angestrebt werden. Dieses Temperaturniveau erlaubt auch den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, die gerade im Kontext des weiteren Ausbaues der Energie-

wende eine immer größere Bedeutung gewinnen dürften, so dass diese auch in St. Joseph kurz- oder mittelfristig gewinnbringend eingesetzt werden könnte. Die Kirche St. Joseph könnte so durch ein innovatives Erzeuger- und Speicherkonzept in die Lage versetzt werden, dass sie mit eigens gewonnener solarer Wärme energieeffizient betrieben werden kann. Zudem hätte die Großkirche durch ihren großen Speicher auch das Potenzial am Kapazitätsmarkt teilzunehmen. Hiermit eröffnet sich die Einsatzmöglichkeit des Speichers als Energiepuffer im Quartier, so dass das anliegende Stromnetz bei einem Überschuss an Energie bedarfsgerecht stabilisiert werden könnte, indem über den Einsatz der Wärmepumpe zu verbrauchender Netzstrom in Wärme umgewandelt werden kann.

Da mit dem weiteren Ausbau an Windenergieanlagen und photovoltaischen Erzeugern die Fluktuation der Stromnetze in den nächsten Jahren deutlich zunehmen wird, bedarf es dringlich geeigneter Konzepte, den im Netz überschüssig verfügbaren Strom aus Erneuerbaren in Wärme zu wandeln (Power to Heat), um so das Stromnetz zu entlasten. Für die Entlastung des Stromnetzes kann die Stromabnahme dabei schon heute vergütet werden. Auf alle Fälle liegen zunehmend größere Zeiträume vor, in denen Strom sehr preisgünstig bezogen werden kann, um diesen unter Einsatz einer Wärmepumpe äußerst effizient in Wärme zu wandeln.

Um die im Umfeld der Kirche gesammelte Umweltwärme energetisch effizient nutzen zu können, bedarf es sogenannter LowEx-Komponenten, mit denen die Wärme auf möglichst niedrigem Temperaturniveau an den Kirchenraum übergeben werden kann. Hier kommt den Flächenheizsystemen zur Wärmeübertragung eine wichtige Rolle zu, die sich auch hervorragend für den Einsatz von Wärmepumpen und von thermischen Energiespeichern eignen.

Auch wenn zu Projektbeginn nicht eindeutig geklärt war, ob mit dem Bau der Reihenhäuser benachbart der Kirche solarthermische Anlagen zum Einsatz kommen sollten, so erschien es den Forschungspartnern besonders wichtig, die Potenziale des zuvor aufgezeigten Energiekonzeptes zu untersuchen.

## 1.2 Thermische Energiespeicher mit Phasenwechselmaterialien

Die thermische Energiespeicherung sollte mit Blick auf den Konzeptansatz, die LowEx-Komponente der Fußbodenheizung ergänzend zur Warmluftheizung in der Kirche St. Joseph zum Einsatz zu bringen, auf Basis von Phasenwechselmaterialien (PCM) erfolgen. Schließlich erlauben Phasenwechselmaterialien selbst auf LowEx-Temperaturniveau, also niedrigen Temperaturen im Bereich zwischen 35°C und 45°C, im Vergleich zu Wasser, durch den Phasenwechsel deutlich höhere Wärme-

mengen in Form von Latentwärme nutzbar zu machen als diese bei kleinen Temperaturhüben in Form von sensibler Wärme realisierbar wären.

Im Unterschied zur sensiblen thermischen Energiespeicherung ist bei Latentwärmespeichern die gespeicherte Energie verborgen, da die Energieeinlagerung nicht mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist. Hier wird die gespeicherte Energie über eine Änderung des Aggregatzustands des Speichermaterials freigesetzt. Entsprechend werden derartige Materialien als PCM (Phase Change Materials) bezeichnet [1].

Bei einem fest-flüssig Phasenübergang entspricht die latente Wärme der Schmelz- bzw. der Kristallisationsenthalpie. Zwar lässt sich auch beim Phasenübergang flüssig/gasförmig eine Verdampfungs- bzw. Kondensationsenthalpie feststellen, die meist auch wesentlich größere Energieumsätze umfasst, doch ist diese aufgrund starker Veränderungen der Dichte technisch nur schwer beherrschbar.

Nachteilig ist bei der Verwendung von Feststoffen, dass infolge des geringen Wärmetransportvermögens allein durch Wärmeleitung ein konvektiver Wärmetransport wie bei Gasen und Flüssigkeiten nicht stattfinden kann und somit große Wärmeübertragungsflächen erforderlich werden. Latentwärmespeichermaterialien werden neben ihrer chemischen Zusammensetzung auch nach der Umwandlungstemperatur, dem Schmelzpunkt sowie der Schmelzenthalpie eingeteilt.

Für den im DBU-Vorhaben interessierenden Niedertemperaturbereich des Phasenwechsels zwischen 35°C und 45°C eignen sich vor allem Paraffine und Salzhydrate. Bei letzteren sind in die Kristallstruktur des Wassers Wassermoleküle eingelagert, die bei Energiezufuhr ausgetrieben werden und mit den dissoziierten Salzionen eine wässrige Lösung bilden. Salzhydrate haben bei einem Schmelz- bzw. Erstarrungspunkt kleiner 100°C eine theoretisch mögliche Speicherdichte von etwa 200 bis 500 MJ/m<sup>3</sup>.

Bei Paraffinen kann der Schmelzpunkt über die Länge der Kettenmoleküle und des Mischungsverhältnisses eingestellt werden. Gegenüber Salzhydraten weisen Paraffine den Vorteil auf, dass diese kaum Korrosionsprobleme bereiten und zur Unterkühlung neigen, so dass sie über zahlreiche Phasenwechselereignisse hinweg in ihrem Phasenwechselverhalten beständig bleiben. Allerdings neigen diese zur leichten Entflammbarkeit. Zudem neigen die Kohlenwasserstoffketten bei hohen Temperaturbeanspruchungen zum Cracken, mit der Folge einer Änderung der Phasenumwandlungstemperatur. In jüngerer Zeit wurden darüber hinaus weitere organische Stoffe auf deren Eignung als PCM untersucht. Dabei sind vor allem biobasierte Systeme zu nennen, auf die im Späteren nochmals eingegangen wird.

Phasenwechselmaterialien wurden und werden infolge ihres enormen Speichervermögens von thermischer Energie intensiv erforscht. Dabei finden bis heute aber insbesondere all jene PCMs große Beachtung, die bei höherem Temperaturniveau

ihren Phasenwechsel vollziehen, um beispielsweise die bei der Stromerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung anfallende Wärme über den Phasenwechsel zwischen zu speichern und zeitversetzt bei akutem Wärmebedarf nutzbar zu machen.

Im DBU-Vorhaben sollten hingegen nur solche PCMs zum Einsatz kommen, die sich in Verbindung mit LowEx-Komponenten zum Einsatz bringen lassen. Hier kommt der Energiespeicherung auf niedrigem Temperaturniveau eine zentrale Rolle zu, so dass das Verhalten der PCM-basierten thermischen Energiespeicher eingehend untersucht werden sollte.

Von besonderem Interesse war dabei auch, dass mit derartigen Speicherkonzepten gerade auch denkmalgeschützte Gebäude einen essentiellen Beitrag zur Energiewende leisten können, schließlich erlaubt die Intensivierung der Nutzung am Bauwerk verfügbarer Erneuerbare Energien einen besonders energieeffizienten Betrieb historischer Gebäude. Nicht zuletzt ließe sich auch eine Netzdienlichkeit des Kirchenbauwerks realisieren, wenn der im Stromnetz überschüssige Strom mittels einer Wärmepumpe in Wärme gewandelt würde und sich diese Wärme bis zu deren Bedarf in den großvolumigen Speichern ohne größere Verluste zwischenspeichern ließe. Weitere Gedankenmodelle wurden bereits entwickelt, in denen der großvolumige Wärmespeicher im Keller von St. Joseph auch als zentraler thermischer Energiespeicher des die Kirche umgebenden Wohnquartiers, also der Gemeinde, dienen könnte. Damit würde die Kirche als aktiver Energiebaustein der Gemeinde agieren.

### 1.3 Energienutzung und Effizienzsteigerung im Heizsystem

Im Fall der Kirche St. Joseph in Osnabrück wurden im Vorfeld viele Überlegungen zur Energieeinsparung bei gleichzeitiger Verbesserung des Raumklimas angestellt.

So zeichnete sich schon in einem frühen Projektstadium ab, dass parallel der in der Kirche installierten Warmluftheizung eine Ergänzung mit einer Flächenheizung nicht nur aus energetischer sinnvoll sein würde. Schließlich bedarf es mit Blick auf die erhaltenswerten Malfassungen auf den Wänden und Gewölben eines stabilen Raumklimas, das innerhalb der mit der Denkmalpflege, den Restauratoren und den Biologen abzustimmenden Klimakorridors zu halten ist, um einer erneuten klimabedingten Schädigung der Malerei und einer erneuten biogenen Besiedelung der Fassungsflächen ausschließen zu können.

War ursprünglich geplant, die neuen verdichteten liturgisch genutzten Bereiche der Kirche mit einer Warmluftheizung bedarfsgerecht zu beheizen, wurde im Zuge der Entwicklung des DBU-Vorhabens die ergänzende Installation einer Fußbodenheizung zur Diskussion gestellt. Schließlich hat Luft eine geringe Wärmekapazität und

es werden große Luftbewegungen benötigt, um die Wärme von den Warmluftauslässen in alle Bereiche des Kirchenraumes zu transportieren.

Grundsätzlich können Warmluftheizungen vergleichsweise rasch reagieren, indem abhängig der Steuerungsvorgabe die im Raum benötigte Wärmeenergie unmittelbar am Warmluftauslass ausgeblasen wird. Doch führt dies in vielen Fällen je nach Austrittstemperatur und Volumenstrom zu starken kurzfristigen Schwankungen im Raumklima und nicht selten ist mit dem Betrieb von Ventilatoren nicht nur die gewünschte Wärmeführung, sondern auch eine Aufwirbelung und Umverteilung von Staubpartikeln verbunden.

Mit Blick auf die geringe Wärmekapazität der Luft muss zur Wärmeübertragung die Luft auf höhere Temperaturen geführt werden. Die hierfür erforderlichen hohen Vorlauftemperaturen bedingen, dass mit Warmluftheizsystemen sich Erneuerbare Energien nur schwer einsetzen lassen.

Die Nutzung von Erneuerbaren Energien lässt sich hingegen besonders effizient in Verbindung mit all jenen Heizsystemen realisieren, bei denen die Vorlauftemperaturen so niedrig als möglich liegen. Hier kommt der Flächenheizung, wie sie in St. Joseph mit der Fußbodenheizung im Umfeld des Altarbereiches realisiert wurde, eine zentrale Bedeutung zu. Ein weiterer Vorteil der Fußbodenheizung liegt darin, dass diese mit einer relativ großen Trägheit verbunden ist, so dass sich eine Vergleichsmäßigung und damit Stabilisierung des Raumklimas erreichen lässt.

Mit der Umsetzung der vorgenannten Überlegungen, neben der vorhandenen Warmluftheizung ergänzend eine Flächenheizung zu installieren, bedurfte es nun der Ausarbeitung eines geeigneten Betriebskonzeptes der beiden Systeme, schließlich bevorzugte der Hersteller der Warmluftheizung den Raum mit dem Betrieb der Warmluftheizung zu konditionieren und die Flächenheizung nur zur Deckung der Spitzenlasten in Betrieb zu nehmen. Die Unterzeichner sahen aber gerade in einem kontinuierlichen Betrieb der Flächenheizung den großen Vorteil, einerseits die geforderte Stabilisierung des Raumklimas und eine hohe Energieeffizienz zu erzielen. So wurde von den Verfassern von Beginn an davon ausgegangen, dass trotz der vergleichsweise kleinen Flächenbelegung die Fußbodenheizung ausreicht, die Grundtemperierung des liturgisch genutzten Raumes von St. Joseph auch während der Wintermonate zu realisieren. Um bei Veranstaltungen die Raumtemperatur dann anzuheben, sollte die Warmluftheizung genutzt werden, deren Betrieb so zu gestalten ist, dass an den Fassungen und der Ausstattung die geforderten Aufheizraten eingehalten werden.

Bereits im ersten Betriebsjahr des dualen Betriebs der Grundtemperierung über die Flächenheizung zeigt, dass diese durchaus in der Lage ist, die Anforderungen an die Raumklimastabilität zu erfüllen. Durch Zuschaltung der Warmluftheizung kann die gewünschte Nutzungstemperatur zielsicher erreicht werden. Da die Oberflächen-



temperatur der Raumschale durch den statischen Betrieb der Flächenheizung auf einem Sockelwert verhardt, führen dabei die gezielten Aufheizphasen i.A. zu akzeptablen Nahfeldklimaänderungen.

## 2 Energiespeicher

### 2.1 Projektsituation in St. Joseph

Die im Zuge der Projektentwicklung angedachte Quartierslösung, in dem benachbart der Kirche St. Joseph eine Reihenbebauung vorgesehen war, deren Dächer zur Gewinnung von Erneuerbaren Energien genutzt werden sollte, die in den thermischen Energiespeichern bis zum Bedarf bevorratet werden sollte, wurde bereits im ersten Projektjahr seitens der Kirchengemeinde verworfen. Alternativ wurde untersucht, inwieweit mittels eines BHKWs die Energieversorgung der Kirche und des neuen in der Kirche integrierten Gemeindezentrums energetisch und wirtschaftlich realisiert werden kann. Dabei erwies sich seitens der Fachplanung die BHKW-Lösung als die wirtschaftlich und energetisch zielführende, so dass diese Energieversorgungsvariante realisiert wurde, die auch künftig den Bezug fossiler Energien von außen erfordert.

Auch wenn hiermit der ursprüngliche Ansatz des DBU-Vorhabens, die Kirche St. Joseph einer gewissen Autarkie zuzuführen, nicht mehr realisiert werden konnte, so bieten die thermischen Energiespeicher auch bei der nunmehr realisierten BHKW-Lösung vielfältige Möglichkeiten, die Effizienz des Energiekonzepts zu steigern [2, 3]. Schließlich lässt sich mittels geeigneter thermischer Energiespeicher die Laufzeit des BHKW's steigern, da selbst bei fehlendem Wärmebedarf der Gebäude die Speicher weiter beladen werden können.

Üblicherweise wird ein BHKW abhängig des Wärmebedarfs des angeschlossenen Gebäudes oder Quartiers dimensioniert. Wird das BHKW betrieben, erzeugt es neben der erforderlichen Wärme für die Beheizung der Gebäude und der Warmwasserbereitung auch Strom durch die Kraft-Wärme-Kopplung. Der erzeugte Strom kann selbst verwendet oder in das am Gebäude/Quartier anstehende Stromnetz eingespeist werden. Da das BHKW nur in Betrieb ist, wenn ein entsprechender Wärmebedarf vorliegt, wird deutlich, dass der Wirkungsgrad in nicht unerheblicher Weise von der Betriebszeit, also Laufzeit des BHKW's beeinflusst wird. Dabei wird der Wirkungsgrad des Anlagenbetriebs umso größer, je länger das BHKW ohne Abschaltung betrieben werden kann. Um eine möglichst hohe Effizienz des BHKW-Betriebs zu erreichen, wird im Allgemeinen empfohlen, die Anlage auf etwa 30 % der thermischen Spitzenlast auszulegen. Daraus ergibt sich, dass etwa 80 % des Heizwärmebedarfs mit etwa 5000 Betriebsstunden durch das BHKW abgedeckt

werden können. Wird nun ein thermischer Pufferspeicher eingesetzt, lassen sich die Betriebszeiten verlängern und der Wirkungsgrad kann so gesteigert werden.

Im Kontext der Energiewende lässt sich das BHKW aber auch bei vorhandenem thermischen Energiespeicher hervorragend im Sinne eines strompreisgeführten BHKW's betreiben. Schließlich kann im Fall der Unterdeckung im externen Stromnetz mit der im Quartier integrierten Kraft-Wärme-Kopplung auf effiziente Art und Weise ein Teil des fehlenden Stroms, durch Verbrennung von im internen Netz vorhandenem Erdgas, erzeugt und zur Stabilisierung in das externe Stromnetz eingespeist werden. Die bei der Stromerzeugung anfallende und nicht unmittelbar benötigte Wärme kann dabei in den thermischen Energiespeicher eingelagert und zwischenbevorratet werden. Da der Zeitpunkt des Wärmeeinfalls bei strombedarfsgeführtem KWK-Betrieb sich nicht mit dem Wärmebedarf der Gebäude im Quartier decken dürfte, bedarf es eines quartierseigenen thermischen Speichers, wie dieser im Keller der Kirche installiert werden könnte.

## 2.2 Grundsätzliche Überlegungen zum Forschungsspeicher

Im Rahmen des DBU-Vorhabens sollte ein Demonstrator eines PCM-basierten thermischen Energiespeichers entwickelt, realisiert und in seinem Verhalten bei der Be- und Entladung mit Energie untersucht werden. Im Vergleich zum reinen Warmwasserspeicher, dessen Speichervermögen von der sensiblen Wärme des Wassers abhängig ist, wird beim PCM-Speicher, wie bereits aufgezeigt, der Phasenwechsel zwischen fest und flüssig genutzt, um die beim Phasenwechsel freiwerdende (von flüssig zu fest) oder erforderliche (von fest zu flüssig) Latentwärme als Speicherenergie bei der Be- und Entladung zu nutzen. Allgemein bekannt ist der Effekt des Gefrierens von Wasser. So verharrt beim Phasenübergang von flüssig zu fest die Temperatur solange auf dem Niveau der Gefrierpunktemperatur bis das gesamte flüssige Wasser vollständig in den festen Phasenzustand (Eis) übergegangen ist. Während die Temperatur hierbei konstant bleibt, wird dem System Energie entzogen. Dieser Effekt wird beispielsweise in der Landwirtschaft zum Schutz der Obstblüte vor Nachtfrösten genutzt.

Interessanterweise stehen heute PCMs zur Verfügung, deren Phasenwechseltemperatur wiederkehrend auf gleichem Niveau bleibt.

Für die Auswahl von Phasenwechselmaterialien werden verschiedene Auswahlkriterien herangezogen:

- Phasenwechseltemperatur abhängig des Arbeitsbereichs
- möglichst hohe spezifische Phasenumwandlungsenthalpie
- möglichst hohe Dichte, um ein hohes volumenbezogenes Speichervermögen zu erzielen

- hohe spezifische Wärmekapazität, da in der technischen Anwendung neben der latenten Wärme auch sensible Wärme gespeichert wird
- hohe Wärmeleitfähigkeit, um bereits bei kleinen Temperaturdifferenzen eine Wärmeübertragung mit relevanter Leistung zu ermöglichen
- kongruentes Schmelzverhalten des PCM ohne feste Zwischenphasen, um einer Entmischung und Abnahme der Wärmespeicherkapazität vorzubeugen
- kleine Volumenänderung des Phasenwechsels, um hohe mechanische Beanspruchungen der PCMs zu vermeiden
- Vermeidung einer Unterkühlung
- Langzeitstabilität des geforderten Temperaturbereichs des Phasenwechsels
- keine eng zusammenliegenden Schmelz- und Siedepunkte
- keine Korrosion des Behältermaterials
- keine toxische Wirkung
- möglichst keine Brennbarkeit und Vermeidung von Explosivität.

Für die praktische Anwendung von Bedeutung ist, dass das PCM auch ökonomische und ökologische Anforderungen erfüllt, wie:

- Verfügbarkeit in großen Mengen
- niedriger Preis
- Umweltverträglichkeit
- Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbarkeit.

Entsprechend der vielfältigen Anforderungen, die für die Auswahl und den Einsatz von Phasenwechselmaterialien in thermischen Energiespeichern zu erfüllen sind, wird deutlich, dass für die jeweils spezifische Anwendung nur wenige Phasenwechselmaterialien geeignet sind. Vielfach müssen Kompromisse eingegangen werden.

So gibt es beispielsweise Materialien, welche den Phasenwechsel bei 28°C vollziehen. Diese werden derzeit als Zusatzstoff für Putze oder als Einlage in Kühldecken erprobt, um überschüssige sommerliche Wärme zu puffern und so im Sommer das Aufheizen der Räume zu begrenzen.

Umfangreiche Untersuchungen, wie sie für Salzhydrate in den Temperaturbereichen > 57°C vorgenommen wurden, fehlen im Temperaturbereich, wie er in LowEx-Systemansätzen mit 35 bis 45°C insbesondere in der Anwendung im Baubestand von Interesse ist. Für den Neubau können in Anbetracht der hohen Wärmeschutzmaßnahmen in der Gebäudehülle sogar noch tiefere Temperaturbereiche des Phasenwechsels angestrebt werden. Typische Salzhydrate, die sich hinsichtlich des Phasenwechseltemperaturbereiches für den Einsatz in thermischen Speichern von LowEx-Konzepten eignen, sind neben den Hydraten des Calciumchlorids (Schmelz-

punkt bei 30°C), des Di-Natriumhydrogenphosphats (Schmelzpunkt zwischen 35°C und 40°C), des Natriumsulfids (Schmelzpunkt bei 47°C) einige wenige weitere mehr oder weniger komplexe Salze, über die in der einschlägigen Literatur berichtet wurde.

Schwierig erweist sich bei Salzhydraten die Einstellung eines konstanten Wassergehaltes über die gesamte Lebensdauer des Salzes. Ein weiteres Problem besteht in dem bereits angeführten, nicht kongruenten Schmelzverhalten, da sich beim Aufschmelzen mehrere Phasen ausbilden können, die sich aufgrund von Dichteänderungen dann räumlich trennen. Entsprechend kann sich die Wärmekapazität mit zunehmender Zyklenzahl verringern. Um dies zu verhindern, empfiehlt es sich für einzelne Salze, die Salzhydrate im Behälter stetig in Bewegung zu halten. Zudem lassen sich Impfungen mit Stoffen wie Borax nutzen, um das Schmelzverhalten der Salze zu stabilisieren.

Das für die praktische Verwendung von Salzhydraten in thermischen Speichern größte Problem stellt aber die große Neigung der meisten Salzhydrate zur Unterkühlung dar. Hier lässt sich die eingespeicherte Energie erst bei deutlich niedrigeren Temperaturen freisetzen als diese bei der Energieeinlagerung für den Phasenwechsel erforderlich ist. Paraffine weisen hier dagegen deutliche Vorteile auf, da diese i.A. in engen Temperaturbereichen ihren Phasenwechsel beim Beladen und damit Schmelzen bzw. beim Entladen und damit Erstarren vollziehen. Demgegenüber erreichen Salzhydrate deutlich höhere volumenbezogene Speicherdichten im Vergleich zu Paraffinen und verfügen über eine deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit, so dass ein leichter Wärmeübergang bei geeigneten Wärmetauscherkonzepten realisiert werden kann. Ein weiteres für die praktische Anwendung entscheidendes Kriterium ist der Preis von PCM. Hier sind die Beschaffungskosten von Salzhydraten meist geringer als bei Paraffinen.

## 3 Realisierung und Erprobung PCM-Demonstrator

### 3.1 Konzeptfindung und Planung

Um die Funktion eines solchen Latentwärmespeichers zu untersuchen, wurde im Zuge des DBU-Vorhabens ein Forschungsspeicher erstellt. Da die meisten am Markt befindlichen Systeme zur Nutzung im Kontakt mit Luft vorgesehen sind, sollte mit dem Forschungsspeicher zum einen die Möglichkeit erprobt werden, diese Materialien in einem wasserführenden System zu verwenden. Weiterhin galt es die Vorgaben der Denkmalpflege zu berücksichtigen, d.h. dass der Speicher jederzeit reversibel wieder aus dem Keller ohne verbleibende Eingriffe in die Originalsubstanz zurückbauen lässt. Als weiterer Punkt war zu klären, welches Verhalten ein reali-

sierter Speicher in Bezug auf Kapazität, Lade- und Entladeverhalten und nicht zuletzt das Abklingverhalten der Wärmeverluste beim Stillstand des Gesamtsystems am Bauwerk vor Ort unter realen Umgebungsverhältnissen zu untersuchen.

Wie bereits ausgeführt wurde der Demonstrationsspeicher im Keller der Kirche St. Joseph installiert. Auch auf den Vorteil wurde bereits hingewiesen, dass selbst bei einem nicht gedämmten Speicher die unvermeidlich abgestrahlte Energie immer noch innerhalb der Gebäudehülle verbleibt. Der ursprünglich angedachte Kriechkeller unter dem Hauptschiff musste aber im Zuge der Voruntersuchungen verworfen werden, da dieser im Zuge der Baumaßnahmen durch die Kanäle der Warmluftheizung belegt wurde und diese aus Brandschutzgründen geschottet werden mussten, so dass diese nicht ohne weiteres zugänglich wären. Als Aufstellort wurde dann ein Raum östlich des Technikellers unter der Werktagkapelle festgelegt.

Für die Untersuchungen wurde ein Modellspeicher geplant, dessen Volumen letztendlich aber zu gering war, als dass eine direkte Anbindung des Speichers an das Heizsystem der Kirche sinnvoll gewesen wäre. Für die Charakterisierung des Be- und Entladeverhaltens des PCM-basierten Speichers wurden folglich kleine Heiz- und Kühlaggregate beschafft, um die Wärmeentzugslast und Wärmeeinspeisung simulieren zu können.

Es wurde ein offenes Speichersystem gewählt, in dem das wärmeführende Medium Wasser war. Um die Kosten für den Modellspeicher zu begrenzen, wurde auf den Einsatz eines Wärmetauschers verzichtet. Als Speichermaterial kam ein PCM auf Basis von Paraffin zum Einsatz, dessen Schmelzpunkt im Bereich von 41–43°C liegt. Dieses Temperaturniveau ist für die Fußbodenheizung in hervorragender Weise nutzbar.

Die Entwicklung der PCM-Speicher erwies sich als äußerst schwierig und komplex. Schließlich konnten in den nur schwer zugänglichen Keller der Kirche St. Joseph keine beliebig großen Behälter hineingebracht werden, weshalb die Speichergröße durch eine Unterteilung in mehrere Speicherbehälter reduziert werden konnte. Auch müssen die Behälter dicht sein und ein hohes Maß an Sicherheit gegen auslaufen bieten. Folglich wurde beschlossen, nicht wie ursprünglich angedacht einen Eigenbau mit Folien zu realisieren, das zwar in jeder Größe hätte hergestellt und in die Kellerräume hineingebracht werden können, dessen Risiko undichter Nahtstellen oder Verletzungen der Folie aber enorm groß gewesen wäre. Die Wahl fiel deshalb auf flüssigkeitsdichte Transportbehälter in einer Größe, die über den Treppenabgang in den Keller hinuntergebracht werden konnten und sich im Bedarfsfall mit Hilfe eines Hubwagens an eine andere Position hätten transportieren lassen. Doch bietet die gewählte Variante die Möglichkeit, das Speichervolumen durch die

Ergänzung mit weiteren Speichern auf einfache Weise beliebig vergrößern zu können.

### 3.2 Technische Umsetzung und Installation

Zur Umsetzung der Planungen war es zunächst erforderlich, die Lastfälle Be- und Entladen der Speicher regeltechnisch abzubilden. Bild 1 zeigt das geplante Strangschema mit den zur Regelung der einzelnen Lastfälle erforderlichen Stellgliedern.

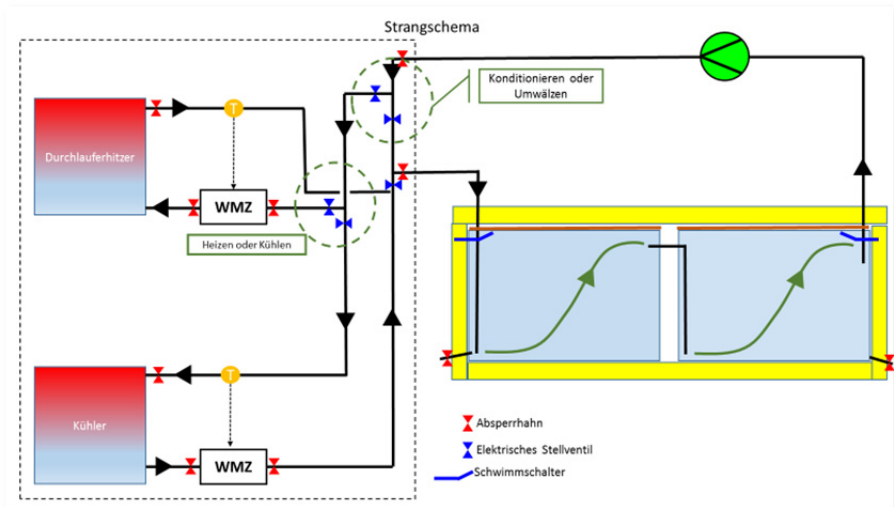


Bild 1 Strangschema des Modellspeichers

Bei der Entwicklung von Regelkreisen ist zu beachten, dass die Speichermaterialien empfindlich auf die Überschreitung einer Maximaltemperatur reagieren. Entsprechend müssen diese überwacht und durch geeignete Regelstrategien abgefangen werden. Um während der Versuche jederzeit Kenntnis darüber zu haben, wie sich die Wärme in den beiden Speicherbecken verteilt, wurden in den beiden hintereinander geschalteten Behältern mehrere Temperatursensoren in verschiedenen Höhenlagen und an gegenüberliegenden Ecken angeordnet. Weiterhin wurden die Vor- und Rücklauftemperaturen des Gesamtspeichers sowie die umgesetzten Wärmemengen messtechnisch überwacht und aufgezeichnet.

den (Bild 3).

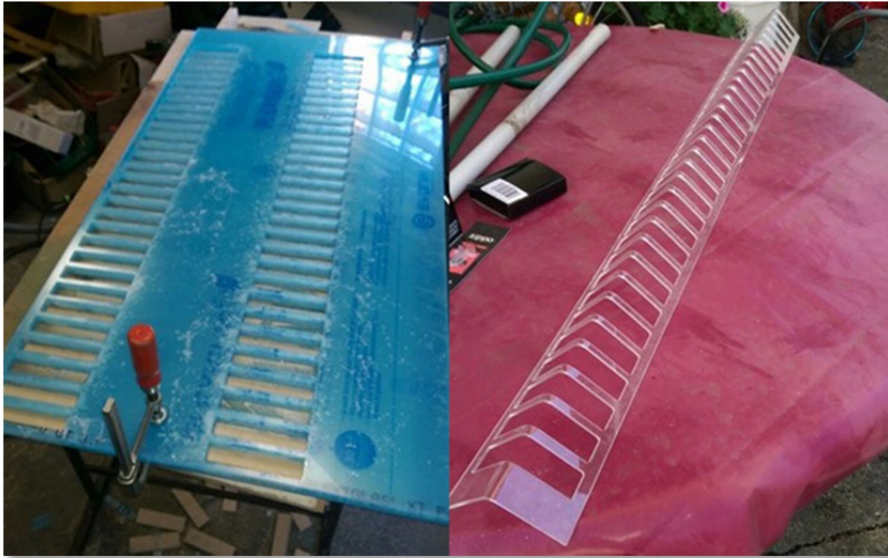


Bild 2 Halterungen für die PCM-Behälter



Bild 3 Einbau der PCM-Behälter

Aus Sicherheitsgründen befinden sich in jedem Becken zwei Schwimmschalter, welche als Sicherheitskreis die Wasserstände überwachen und unabhängig vom rechnergestützten Regelsystem die gesamte Anlage bei über- oder unterschreiten festgelegter Wasserstände (z.B. auf Grund einer verstopften Leitung, Verdunstung, etc.) außer Betrieb nehmen.

Eine große Fragestellung war auch, in welcher Form das Phasenwechselmaterial in die Speicher eingebaut werden kann. Es sollte zum einen eine möglichst große

Kontaktfläche zum Transportmedium bestehen, andererseits aber auch das Verhältnis PCM zur Umhüllung möglichst groß sein. Die Wahl fiel dann auf Plattenelemente, welche den bekannten Kühlakkus nicht unähnlich sind. Mit Hilfe von selbstgefertigten Halterungen (Bild 2) konnten diese dann in die Speicher eingebaut werden (Bild 3).

Für die Versuchsreihen wurden folgende Randbedingungen festgelegt, wobei die minimal erforderliche Vorlauftemperatur durch Messungen im Betrieb an der FBH der Kirche ermittelt wurde. Die maximale Speichertemperatur wird durch die maximale Arbeitstemperatur des PCMs von 70°C definiert, von der, um eine Zerstörung des Paraffins zu vermeiden, ein Sicherheitsabstand von 10 K eingehalten werden sollte.

Speichervolumen	= 2 x 524 l = 1048 l
Masse PCM	= 332 kg
Wasservolumen	= 1048 - 332 = 716 l
Minimale Vorlauftemperatur der FBH	= 25°C
Maximale Speichertemperatur	= 60°C

Aus diesen lassen sich dann die theoretischen Speicherkennwerte über die Berechnung der jeweiligen Wärmekapazitäten ermitteln. Diese Speichervermögen ergeben sich für das zur Verfügung stehende Speichervolumen zu:

Reiner Wasserspeicher	42,6 kWh
Reiner PCM-Speicher	68,7 kWh
Modellspeicher (PCM + Wasser)	56,4 kWh

### 3.3 Versuchsergebnisse

Zur Validierung dieser theoretischen Kennwerte wurde ein einwöchiges Versuchsprogramm gefahren, welches aus 3 Lade-, 2 Entlade-, 3 Umwälz- sowie einem über diese Woche hinausgehenden Abklingzyklus bestand. Bild 4 zeigt exemplarisch den Verlauf der Speichertemperaturen in den einzelnen Zyklen. Auffällig ist hier zunächst der optische Eindruck, dass die Beladezyklen deutlich kürzer sind als die Entladezyklen. Dies ist aber die Folge der technischen Möglichkeiten der eingesetzten Heiz- und Kühlaggregate. So konnte der Speicher zwar mit einer Heizleistung von bis zu 6,5 kW geladen aber nur mit einer maximalen Kühlleistung von 3,5 kW entladen werden.



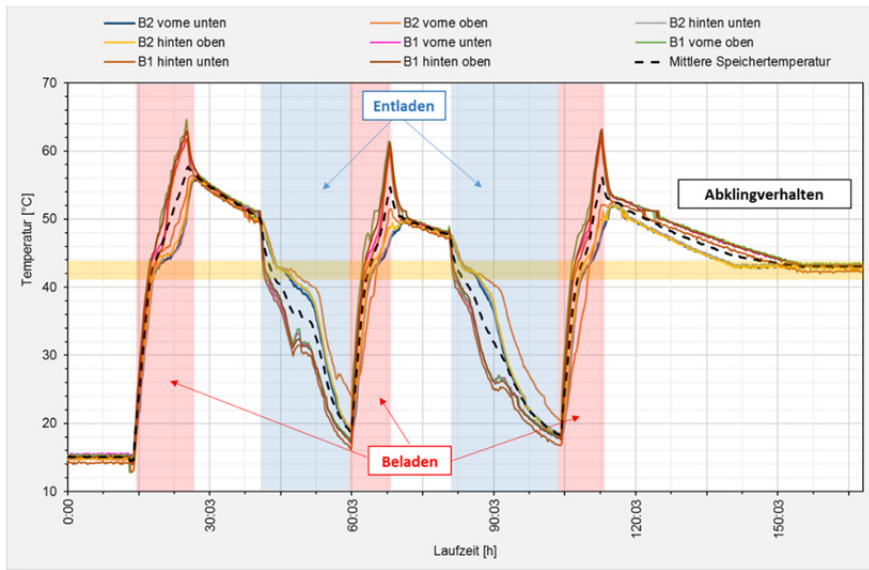


Bild 4 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen innerhalb des Speichers

Die Versuche verdeutlichten, dass das wassergeführte Speichersystem mit der Einlagerung von PCM-Plattenelementen grundsätzlich funktioniert. Sowohl die Speicherkennlinien als auch die Messergebnisse der gespeicherten und abgegebenen Energiemengen stimmen sehr gut mit den theoretisch, aus den Herstellerangaben ermittelten Werten überein. Daraus lässt sich folgern, dass mit einer registerartigen Anordnung alle Speicherelemente die PCM-Packs relativ gleichmäßig umströmt wurden und es keine nicht der Wärmeführung zugänglichen Behälterbereiche gibt. Allerdings zeigt die Anordnung der Speicher in einer Reihenschaltung auch Effekte, die einer Optimierung bedürfen, soll ein offenes und wasserführendes Speicherkonzept ohne Wärmetauscher zum Einsatz kommen. So ist es zur Effizienzsteigerung erforderlich, dass sich auch der zweite Speicher vollständig beladen lässt. Um diesen Zustand in der ausgeführten Systemanordnung zu erreichen, musste die Vorlauftemperatur über längere Zeit regeltechnisch auf Ladetemperatur gehalten werden.

Zum Abschluss der Versuche wurden die Ergebnisse auf die reale Situation übertragen, die erreichbaren Verbesserungen des Speichervermögens untersucht und eine Berechnung zum erforderlichen Speichervolumen durchgeführt. Den Berechnungen des erforderlichen Speichervolumens liegen mehrere Annahmen zugrunde. So wurde aus den Messungen in der Kirche zwar der Energiebedarf der FBH über vier Monate ermittelt, die Annahme, dass der Speicher die erforderliche Energie für

eine Woche enthalten sollte, basiert jedoch auf der ursprünglichen Planung, die FBH über regenerative Energien zu versorgen. Hier ist ein größerer Speicher zur Überbrückung von Schlechtwetterphasen erforderlich.

Tabelle 1 gibt die Berechnungsergebnisse wider und verdeutlicht, dass der Effekt der PCM-Packs in einem Temperaturbereich nahe der Arbeitstemperatur des PCMs am günstigsten ist. Allerdings ist zu beachten, dass das gesamte Speichervermögen in einem engeren Temperaturbereich abnimmt und somit der Speicherinhalt größer werden muss.

Tabelle 1: Wirkungsgrad und erforderliches Speichervolumen

Temperaturbereich	Speichervermögen Wasser [kWh/m³]	Speichervermögen PCM / Wasser [kWh/m³]	Wirkungsgrad [-]	Erforderliches Speichervolumen für Betrieb FBH / Woche Wasserspeicher [m³]	Erforderliches Speichervolumen für Betrieb FBH / Woche PCM/Wasser - Speicher [m³]
25 °C – 60 °C	42,6	56,3	1,3	32,9	24,9
30 °C – 60 °C	36,5	51,2	1,4	38,4	27,3
35 °C – 60 °C	30,4	46,1	1,5	46,0	30,4

## 4 Ausblick und Empfehlungen

### 4.1 Betriebsweise von Latentwärmespeicher

Durch die Zielsetzung, Energie in einem engeren Temperaturbereich zu speichern, ergibt sich die Problematik, dass es nicht ausreicht, die Temperaturschichtung und -verteilung in den Speichergefäßen mit einer auf eine Messstelle beschränkten Temperaturmessung vorzunehmen. Insbesondere nach einem längeren Stillstand des Systems, also einer länger zurückliegenden Be- oder Entladung des Speichers, ist irgendwann die Entscheidung zu treffen, ob im Speicherbehälter noch genügend Energie eingelagert ist und diese einer Nutzung zugeführt werden kann, oder ob es sinnvoll bzw. notwendig ist, Wärme von außen dem Speicher zuzuführen, um diesen wieder zu beladen.

Folglich könnte es vorteilhaft sein, das verfügbare Speichervolumen in mehrere parallelgeschaltete Einheiten zu unterteilen, welche dann auf unterschiedlichen Temperaturniveaus betrieben werden könnten. Hierzu bedarf es aber zunächst umfassender simulativer Untersuchungen, wie sie in gerade begonnenen Forschungsvorhaben und auch in neu angedachten Vorhaben vorgesehen sind.

Grundsätzlich ist sowohl bei Paraffinen wie auch bei Salzhydraten als Phasenwechselmaterialien sicherzustellen, dass diese sich in ihrer Zusammensetzung nicht

verändern. So ist bei Salzhydraten eine Veränderung der Zusammensetzung zu berücksichtigen, einer Problemstellung, die insbesondere im Vorhaben [4] analysiert werden soll. Bei Paraffinen besteht die Gefahr, dass im Speicherbetrieb das Latentwärmematerial Paraffin je nach verfügbarer Wärmequelle überhitzt wird. Folglich ist zu berücksichtigen, dass die PCM-Speicher nicht mit beliebigen Medientemperaturen beladen werden können, sondern die für die Beladung maximal zulässige Medientemperatur vom gewählten PCM abhängt.

Vergleichsweise stabil in ihren Eigenschaftsmerkmalen scheinen sich biobasierte PCM zu verhalten, die folglich in [4] in detaillierten Untersuchungen berücksichtigt werden sollen.

## 4.2 Welches PCM-Material für die Latentwärmespeicherung?

Für die Durchführung der im DBU-Vorhaben vorgesehenen Versuche wurde die Entscheidung getroffen, die zum Projektzeitpunkt im Handel erhältlichen und vergleichsweise, hinsichtlich der Phasenwechseltemperaturen, stabilen Paraffine für die Versuche heranzuziehen. Da eine große Zahl von PCMs auf Paraffinbasis im Handel angeboten werden, die sich aber in ihrem Temperaturniveau hinsichtlich der für die energetische Nutzung interessanten Phasenwechseltemperaturen unterscheiden, musste eine Auswahl des für die angedachte Anwendung geeigneten Paraffinproduktes getroffen werden.

Da die ursprüngliche Zielsetzung vorsah, solarthermische erzeugte Energie direkt zu speichern und diese für die Temperierung der Kirche mit einer Fußbodenheizung zu nutzen, wurde der Paraffintyp RT44HC gewählt, dessen Schmelztemperatur bei 44°C liegt. Sollte mit der in den Speichern eingelagerten Energie im Falle einer Quartierslösung auch die Warmwasserbereitung unterstützt werden, ist die Gefahr der Legionellenbildung zu berücksichtigen. Hier müsste entweder der Speicher in regelmäßigen Abständen mittels Heizstab oder Wärmepumpe auf Temperaturen von 60°C aufgeheizt werden oder aber es müsste über einen Wärmetauscher ein sekundärer Wärmekreislauf mit direktem Durchlauf des Warmwassers und nachgeschalteter Nacherhitzung realisiert werden.

Parallel der Versuche mit dem im DBU-Vorhaben gewählten PCM RT44HC von Rubitherm wurden diverse Berechnungen zum Speichervermögen der verschiedenen paraffinbasierten PCM unter Verwendung der Kennwerte und technischen Datenblätter der Hersteller durchgeführt, um unter Berücksichtigung des im Forschungsspeicher realisierten Verhältnisses von Wasser zu PCM die einspeicherbare und im thermischen Energienetz nutzbare Wärme zu analysieren. Dabei zeigte sich, dass mit dem hohen Volumenanteil des Wassers im realisierten Speicher der Latentwärmeeffekt nicht optimal ausgespielt werden kann, schließlich nimmt das

Wasser einen Volumenanteil von zweidrittel des Gesamtspeichervolumens ein. Entsprechend kommt auch der sensiblen Wärme im Versuchsspeicher eine große Bedeutung zu. Diese ist aber in Anbetracht der angestrebten Temperaturen in LowEx-Systemen nur begrenzt. Dennoch zeigten selbst unter dem vergleichsweise ungünstigen Verhältnis von PCM zu Wasser die Versuche des Speicherdemonstrators, dass der Latentwärmespeicher hervorragend geeignet ist, um bei kleinem Temperaturunterschied um die Schmelzpunkttemperatur des Phasenwechselmaterials große Latentwärmemengen für die Einspeicherung oder die Entnahme von Wärme in thermischen Energienetzen nutzbar machen kann.

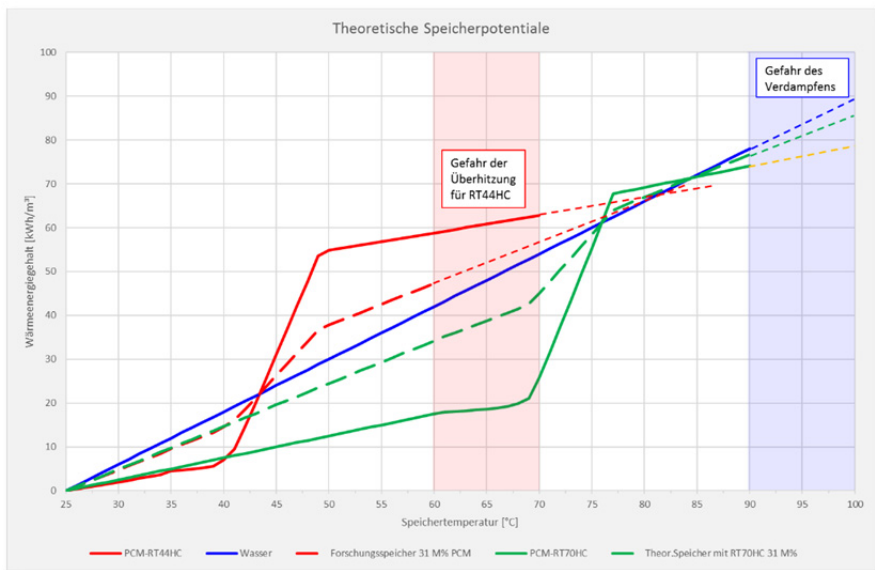


Bild 5 Analyse von PCM mit unterschiedlichem Schmelzpunkt

Während das im Forschungsspeicher verwendete Material RT44HC, das für den Betrieb der Temperierung der Kirche mit der Fußbodenheizung genutzt werden könnte, sein Speicherpotential auf LowEx-Temperaturniveau aufweist, liefert das Paraffin RT70HC mit einem höheren Schmelzpunkt bei einer Temperatur von 75°C den Phasenwechsel. Bild 5 zeigt das thermische Speichervermögen bezogen auf 1 m³ Speichervolumen. Die durchgehenden Linien stellen die Ergebnisse für einen Speicher dar, der einzig mit PCM-Material gefüllt wäre, der mit dem im DBU-Vorhaben gewählten Speicheraufbau hätte nicht realisiert werden können. Die gestrichelten Linien geben das Energiespeichervermögen des Forschungsspeichers wieder, der mit einem Massenverhältnis von PCM zu Wasser mit 31 M.-% zu 69 M.-% realisiert werden konnte.

Der unterschiedliche Verlauf der beiden Linien (durchgezogene und gestrichelte Linie) verdeutlicht für beide betrachteten PCM, dass es gelingen muss, direkt das PCM-Material losgelöst eines wärmeübertragenden Mediums Wasser im Speicher zu nutzen. Die Zugabe von Wasser, um die Wärmeübertragung zu realisieren verschlechtert den Wirkungsgrad des Latentwärmespeichers und die für thermische Energienetze auf LowEx-Niveau positiven Wirkpotenziale der Latentwärmenutzung gehen mit zunehmendem Wasseranteil im Speicher verloren.

Wird berücksichtigt, dass Wasser von allen nutzbaren Speichermaterialien mit  $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  mit Abstand die größte Wärmespeicherkapazität aufweist, lassen sich in einem Kubikmeter Wasser je Kelvin Temperaturdifferenz  $1,16 \text{ kWh}$  Wärmeenergie einspeichern. Feststoffspeicher erreichen hier geringere Werte, die bei Ziegel maximal  $0,67 \text{ kWh}/\text{m}^3$  und bei Basalt mit einer Dichte von etwa  $3000 \text{ kg}/\text{m}^3$  auf  $0,83 \text{ kWh}/\text{m}^3$  ansteigt. Bei derartigen Speichern kommt der sensiblen Wärmespeicherung die zentrale Bedeutung zu, die umso interessanter wird, je höher die Temperaturdifferenz zwischen der Be- und der Entladung ist.

Da LowEx-Komponenten sich aber durch nur kleine Temperaturdifferenzen zwischen Be- und Entladung auszeichnen, ist die thermische Speicherwirkung von sensibler Wärme vergleichsweise gering. Größere Potenziale weisen hier eindeutig PCM auf. Doch muss es daher grundlegend gelingen, eine neue Generation von Speicherkonzepten zu entwickeln, mit denen das reine PCM genutzt werden kann. Je höher die Wirkeffizienz der Speicher, umso eher können PCM trotz der vergleichsweise hohen Kosten eine wirtschaftliche Komponente in Energienetzen darstellen.

### 4.3 Aktuelle Forschungen zur Bewertung und Effizienzsteigerung von PCM-Speichern

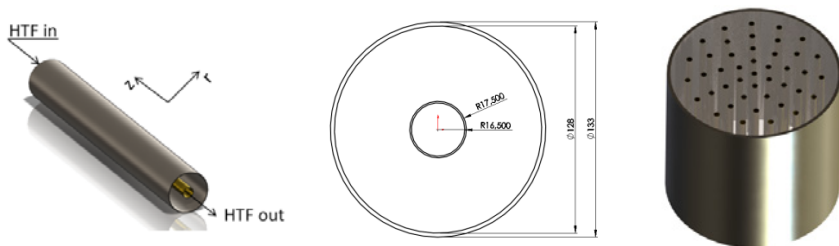
In laufenden Forschungsarbeiten der Arbeitsgruppe [4] wird versucht, für die thermische Energiespeicherung in LowEx-Netzen geeignete und wirtschaftlich vertretbare PCM zu identifizieren. Hierzu werden zum einen mit den bekannten Methoden zur Charakterisierung der Phasenwechselmaterialien mittels DSC/TG das Schmelzverhalten der PCM an kleinen Probenmengen über den gesamten interessierenden Temperaturbereich analysiert. Doch lassen die hierbei gewonnenen Erkenntnisse keine hinreichenden Aussagen erwarten, wie infolge der geringen Wärmeleitfähigkeit der PCM im festen Zustand ein Wärmetransfer zielführend und rasch ermöglicht werden kann. Auch finden sich in der Literatur nur wenige Aussagen zu den mit dem Phasenwechsel verbundenen Volumenänderungen, die große Auswirkungen hinsichtlich der mechanischen Beanspruchung des Speicherbehälters haben. Schließlich ist infolge der in Abschnitt 4.2 aufgezeigten Effizienzverluste die

Kopplung mit Wasser als Wärmeträger und hydraulisches Kopplungsmedium in Speichern zu vermeiden.

Seitens der Hersteller werden zu diesen anwendungsrelevanten Fragestellungen nur vereinzelt Hinweise gegeben. Insbesondere fehlen experimentell belastbare Daten zum chemisch-physikalischen Verhalten der PCM. Hier sind ein kongruenter Schmelzpunkt und eine gute Keimbildung bei der Erstarrung aus der Schmelze im Verlauf einer steten zyklischen Be- und Entladung von großer Bedeutung, die im Vorfeld einer Realisierung von Demonstratoren im Quartier zu klären sind.

Da das Verhalten von Phasenwechselmaterialien infolge des extrem nichtlinearen Verhaltens beim Phasenwechsel und den sich infolge der verändernden Aggregatzustände einstellenden physikalischen Eigenschaften äußerst komplex ist, bedarf es numerischer Betrachtungen, um das energetische Verhalten rechnerisch hinreichend genau abschätzen und bewerten zu können.

Zudem erfordern die veränderlichen Randbedingungen beim Phasenwechsel den Einsatz transienter Differentialgleichungssysteme, um das Stefan-Problem des Wärmehaushalts während laufender Schmelz- bzw. Erstarrungsvorgänge einer Lösung zuführen zu können. So wird im neuen Forschungsvorhaben [4] von der Arbeitsgruppe des Verfassers ein 3D-Modell einer Latentwärmespeichereinheit entwickelt, um den Wärmeübertrag zwischen einem Wärmeträgerfluid, das durch eine „heat transfer pipe“ (HTF, inneres Rohr) fließt, und dem umgebenen PCM analysiert (vgl. Bild 6).



**Bild 6** 3D-Modell eines Rohrsystems mit Innenrohr. Im inneren Rohr wird der Wärmeträger geführt. Zwischen innerem und äußerem Rohr befindet sich das zu analysierende PCM. Im rechten Bild ist das 3D-Modell zur Analyse des Verhaltens eines mit PCM-Material gefüllten Speichersystems dargestellt (Quelle: L. Lackovic, interner Bericht IWB, Universität Stuttgart, 2016)

Mit einem derartigen Wämetauschervorgang können die Nachteile und Effizienzverluste des in der Kirche St. Joseph zum Einsatz gekommenen Speicherkonzepts, bei dem das Verhältnis von Wasser zu PCM etwa 2 zu 1 ausmachte, vermieden werden. Dem Wärmeträger kann dabei entweder direkt Energie in Form von Um-

weltenergie (solarthermische Anlage oder Massivabsorbersystem) zugeführt werden oder aber er erhält den Wärmeeintrag über eine elektrisch betriebene Wärmepumpe, die z.B. bei Stromüberschüssen im Stromnetz zur Vermeidung hoher Netzfrequenzen zur Stabilisierung den Strom aus dem Netz bezieht und unter Einbindung anstehender Umweltenergie, z.B. oberflächennahe Geothermie, nutzbare Wärme erzeugt, die im thermischen Energiespeicher bis zu deren Bedarf zwischengespeichert werden kann.

Ein Zyklus der Betrachtung reicht vom Schmelzen bis zur darauffolgenden erneuten Erstarrung. Der Schmelzvorgang stellt sich ein, wenn der Pufferspeicher mit Wärme beladen wird. Bei der Entladung des Speichers zur Beheizung und/oder Warmwasserbereitung erfolgt ein Erstarrungsprozess. Hier wird die benötigte Wärme vom PCM an den in den kleineren Rohren geführten Wärmeträger übertragen und aus dem Pufferspeicher geführt. Bisherige Ergebnisse der numerischen Modelle lassen erwarten, geeignete Speicherkonzepte zeitnah entwickeln und in ihrem Verhalten zuverlässig bewerten zu können. Parallel laufen experimentelle Studien, mit denen das dynamische Be- und Entladeverhalten der interessierenden Phasenwechselmaterialien nachvollzogen werden kann, um so auch die numerischen Modellansätze zu validieren.

Mit diesen Erkenntnissen können in Fortsetzung der Arbeiten zum PCM-Speicher in der Kirche St. Joseph in den nächsten ein bis zwei Jahren wirksame, effiziente und leistungsfähige PCM-basierte Speicherkonzepte für LowEx-Systeme entwickelt werden, die Voraussetzung für eine Flexibilisierung der Energienetze in Quartieren sind. Aus Sicht des Verfassers stellen PCM-basierte thermische Energiespeicher eine zwingende Schlüsseltechnologie dar, um den Herausforderungen der Energiewende Rechnung tragen zu können, schließlich gilt es, den Einsatz von Umweltenergien dramatisch zu steigern. Dies erfordert, Umweltenergie direkt nutzen zu können oder eben bei anstehendem Überschuss entsprechend zu speichern oder regenerative Energien mittels Wärmepumpe nutzbar zu machen und auch diese bei Überdeckung des Wärmebedarfs bis zu einem späteren Gebrauch im Sinne einer Flexibilisierung zwischen zu speichern.

## 5 Danksagung

Die Verfasser danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Demonstrations-Latentwärmespeichers und der Kirchengemeinde für die Unterstützung der baulichen Umsetzung. Die im Vorhaben gewonnenen Ergebnisse erlauben die Aussage, dass PCM-basierte Wärmespeicher eine wichtige Bedeutung in künftigen Energiekonzepten haben werden, schließlich gilt es, die Einbindung von Umweltenergien deutlich zu intensivieren. Auch wenn das realisierte Speicherkon-

zept verdeutlichte, dass die Kopplung und Wärmeübertragung mit Wasser die Potenziale der PCM-Materialien beschränkt, so zeigten die Ergebnisse, dass abgesehen der Kosten, die angedachte Funktionsweise erfüllt werden kann. Die durchgeführten Arbeiten bilden eine wichtige Grundlage für die weitere Fortentwicklung der PCM-basierten Energiespeicher, die gerade für die künftigen Energiekonzepte von Großkirchen interessant sind, wie dies im Rahmen der Untersuchungen in St. Joseph aufgezeigt werden konnte.

## 6 Literatur

- [1] Sterner, M.; Stadler, I.: Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration, Springer Verlag, Berlin, 2014.
- [2] Wahl, A.; Gschwander, S.; Kalz, D.; Sonntag, M.; Klein, K.; Krieger, W.: Latent-wärmespeicher in netzreaktiven Gebäuden. BWPLUS – Zwischenbericht zum Statuskolloquium der Umweltforschung Baden-Württemberg, 2014.
- [3] Optimierter Betrieb von KWKK-Systemen mit Speichern – Case Study am Beispiel einer Liegenschaft, Klein, K.; Wahl, A.; Huang, M.; Sonntag, M.; Kalz, K.; Herkel, S., BauSIM 2014, 2014.
- [4] Energieeffiziente Wohnsiedlungen durch zukunftsfähige Konzepte für den denkmalgeschützten Bestand – Energieoptimiertes Quartier Margarethenhöhe Essen (EnQM); Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Projektträger Jülich; AZ: 03ET1417A; Projektkoordination: IWB, Universität Stuttgart; Projektverantwortung H. Garrecht; Projektlaufzeit: 01.10.2016 bis 31.9.2020.



# Klimaethisches Architekturkonzept zur nachhaltigen Fortentwicklung historischer Kirchenbauwerke

## Innovative Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Decken- und Wandmalerei am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück

Am Beispiel der Katholischen Kirche St. Joseph in Osnabrück wurden im Rahmen des DBU-Verbundvorhabens die mit der Umsetzung eines klimaethischen Architekturkonzepts verbundenen Einwirkungen auf die denkmalpflegerisch bedeutsamen Decken- und Wandmalereien eingehend analysiert. Ziel der Untersuchungen war es, eine sichere Bewertung der aus der Umsetzung der Architekturidee und der Neuorientierung des Kirchenraums resultierenden Beanspruchungen der Malerei vornehmen zu können. Mit Hilfe der hierbei gewonnenen Erkenntnisse wurden dann Maßnahmen und Konzepte entwickelt, die trotz umfassender Veränderungen im Kirchenraum gewährleisten, dass die bedeutsamen Malereien keiner weiteren Gefährdung mehr unterworfen werden.

Wesentliches Ziel war es dabei, die mit den klimaethischen Gedanken von »Raum in Raum« und »Stadt in Stadt« verbundenen Konsequenzen des nachhaltig ökologischen und ökonomischen Gesamtansatzes für die wertvollen Malereien im Rahmen des beantragten Vorhabens herauszuarbeiten. So werden grundsätzliche Überlegungen erforderlich, mit denen die Wirkung der heizungstechnischen Systeme auf das Raumklima und die hieraus resultierenden klimabedingten Wechselwirkungen mit den wertvollen Malereien zuverlässig eingeschätzt werden können. Umfassende restauratorische Befunduntersuchungen wurden durchgeführt, um Methoden herauszuarbeiten, mit denen die Abnahme des filmbildenden Anstriches ohne Verlust der originalen Substanz möglich ist. In Absprache mit der Denkmalpflege wurde in einem Testfeldern die Methodik der Abnahme erprobt und ggf. an die vorgefundenen Gegebenheiten angepasst, um anschließend die monochrom gefassten Wandflächen in geeigneter Weise reinigen zu können. Gleichmaßen in Zusammenarbeit mit der Denkmalpflege wurde eine Kartierung des ursprünglichen Schimmelbefalls vorgenommen, um einen Abgleich mit dem nach Umsetzung aller Maßnahmen zur Raumklimaverbesserung erzielten Besiedlungszustand zu schaffen.

Eine wichtige Rolle kommt dabei auch der Analyse der Möglichkeiten zur Raumluftverbesserung durch kontrollierte und bedarfsabhängiges Öffnen und Schließen der Fenster zu, wobei die im Rahmen der Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse in ein handhabbares Konzept überführt, erprobt und im Laufe des Vorhabens optimiert wurde.

Im Rahmen des Abschlusskolloquiums und mit dem vorliegenden Tagungsband soll über die durchgeführten Untersuchungen berichtet und die hierbei gewonnenen Erkenntnisse vorgestellt werden, damit die sich als positiv erwiesenen Maßnahmen auch auf andere Großkirchen übertragen werden können.

ISBN 978-3-8167-9833-0



Fraunhofer IRB Verlag