

## CFD-SIMULATIONEN UND KLIMAMONITORING – SICH ERGÄNZENDE METHODEN ZUR AUSARBEITUNG VON MAßNAHMEN ZUR STABILISIERUNG DES KLIMAS IN HISTORISCHEN RÄUMEN

Prof. Dr. Harald Garrecht, Simone Reeb.  
Technische Universität Darmstadt

### EINFÜHRUNG

Am Beispiel der Kirche St. Michael in Weiden i.d. Oberpfalz soll der vorteilhafte gemeinsame Einsatz von CFD-Simulation und Klimamonitoring aufgezeigt werden, mit dem denkmalgerechte Maßnahmen zur zielsicheren Stabilisierung des Raumklimas in historischen Bauwerken herausgearbeitet werden können. Um die Werke ihres früheren Organisten Max Reger wieder authentisch spielen zu können, fasste die Kirchengemeinde St. Michael 1999 den Beschluss, eine neue Orgel mit außergewöhnlichem Klangvolumen zu installieren. Die hohe Qualität des einzigartigen Instruments stellt dabei höchste Ansprüche an die Klimastabilität im großvolumigen Kirchenraum, dessen steinernes Außenmauerwerk ungedämmt ist und die Verglasung aus nur einer Scheibenebene besteht. Die vorhandene Sitzbankheizung konnte keinesfalls den neuen Anforderungen gerecht werden, so dass seitens der haustechnischen Fachplanung ein neues Fußbodenheizkonzept ausgearbeitet wurde.

Ob allerdings mit dem angedachten Fußbodenheizsystem im mehr als 15000 m<sup>3</sup> Luftvolumen fassende Kirchenraum ein Raumklima geschaffen werden kann, das den Anforderungen von Orgel und historischer Bausubstanz genügt, konnte ohne eine vertiefende Analyse der zu erwartenden Raumluftverhältnisse nicht zuverlässig beurteilt werden. Ungünstige Raumklimata im Nahfeld der Orgel sollten aber unbedingt vermieden werden, da ansonsten ein stetes kostspieliges Stimmen des Instruments erforderlich würde. Entsprechend wurden die Verfasser hinzugezogen, um zunächst die raumklimatischen Verhältnisse im Ist-Zustand mittels Monitoring zu erfassen und zu bewerten. Ziel der raumklimatischen Untersuchungen war es auch, Vorschläge zur Optimierung der heiztechnischen Auslegung des Fußbodenheizsystems wie auch des Anlagenbetriebs unter Berücksichtigung des Raumverhaltens abhängig von Witterung und Kirchennutzung herauszuarbeiten. Ergänzend zum Klimamonitoring wurden seitens der Verfasser auch CFD-Simulationsstudien durchgeführt, mit deren Hilfe eine günstigste Aufteilung der Fußbodenheizsegmente gefunden und ein optimierter

Betrieb zur Sicherstellung von stabilen Raumluftzuständen erarbeitet werden konnte.

### RAUMKLIMAVERHÄLTNISSE VOR DER KIRCHENRENOVIERUNG

Zur kontinuierlichen Erfassung der in den verschiedenen Raumbereichen und über die Raumhöhe der Kirche vorherrschenden Raumluftverhältnisse wurde in einem ersten Schritt ein Netzwerk von 80 Sensoren installiert. Zum Einsatz kam ein rechnergestütztes kabelbasiertes Messkonzept, das im Frühjahr 2004 in Betrieb genommen werden konnte. Schon wenige Tage nach Inbetriebnahme wurde während der kalten Osterfeiertage festgestellt, dass die alte Bausubstanz, wie auch die alte Orgel infolge kurzzeitiger und intensiver Aufheizphasen mittels Sitzbankheizung erheblichen Beanspruchungen unterworfen waren. Mit der raschen Raumerwärmung verbunden, zeigte sich eine deutliche Abnahme der relativen Feuchte im Nahfeld der wertvollen Fassungen und innerhalb des Orgelprospekts. Heizbedingte Klimaänderungen, die für die neue Orgel keinesfalls akzeptiert werden konnten. Außerhalb der kalten Witterungsperioden wurden in der Kirche aber vergleichsweise ausgewogene Raumklimata beobachtet, so dass Zuversicht darüber bestand, dass mit Hilfe einer auf die baulichen Verhältnisse abgestimmten Anordnung und einer intelligenten Regelung des Heizsystems, die hohen Anforderungen an die Raumluftverhältnisse auch von einem Fußbodenheizsystem erfüllt werden können.

### 3 CFD-SIMULATION ZUR OPTIMALEN AUSLEGUNG DER WÄRMELEISTUNG DER FUßBODENHEIZUNG

Um die sich abhängig der heiz- und raumlufttechnischen Planungen in der Michaelskirche einstellenden Temperaturverhältnisse und Raumluftströmungen bewerten zu können, wurden umfangreiche numerische CFD-Analysen vorgenommen. In diesem Kontext konnte dann die optimale Anordnung und die erforderliche Leistungsauslegung der Fußbodenheizsegmente vorgenommen werden. Entsprechend umfassten die Simulationsstudien:

- Anordnung und Leistungsauslegung der erforderlichen Heizregister
- Sicherstellung eines für die Orgel hinreichend stabilen Raumklimas
- Minimierung der Raumluftgeschwindigkeiten
- Schaffung ausreichender Behaglichkeit für die Besucher
- Minimierung des Energieaufwands zur Grundtemperierung und kurzzeitigen Erwärmung des Kirchenraumes während der Veranstaltungen
- Optimaler Schutz der historischen Bausubstanz und der wertvollen Ausstattung

Zunächst wurde hierzu die innere Raumschale der Kirche mit einem Modellnetz abgebildet, das es erlaubte, den Kirchenraum mit ca. 1,2 Mio. Volumenelementen so zu diskretisieren, dass die Kriterien und Anforderungen an die Netzqualität erfüllt werden konnten. Dank der messtechnisch erfassten Raumklimaverhältnisse konnten dann Berechnungen zur Raumluftsituation in der Kirche für verschiedene Klimarandbedingungen vorgenommen werden. Die gemessenen Raumklimadaten dienten hierbei der Validierung der Ist-Zustandsberechnung. Entsprechend wurden nicht bestimmbare Modellparameter solange modifiziert und angepasst, bis mit der Simulation vergleichbare Ergebnisse gewonnen wurden, wie sie aus den Messungen bekannt waren.

Hierauf aufbauend wurde dann die Aufteilung und Anordnung der Fußbodenheizflächen wie auch die leistungsmäßige Auslegung der einzelnen Heizbereiche vorgenommen. Die Berechnungsergebnisse verdeutlichten dabei, welchen erheblichen Einfluss die Anordnung der Heizwärme abgebenden Systeme auf den Wärmehaushalt und die Luftströmungsverhältnisse im Raum hat. So zeigte die CFD-Simulation beispielsweise, dass auch auf der Empore Heizflächen anzuordnen sind, sollen im Nahfeld der Orgel geeignete Raumklimaverhältnisse geschaffen werden. Gleiches gilt für den hinter dem Hochaltar und der Außenwand des Chors gelegenen Raumbereich. Hier reicht selbst ein Heizkörper mit nur geringer Wärmeabgabeleistung aus, um rechnerisch die Raumluftströmungsverhältnisse in der Kirche gänzlich umzukehren. Entsprechend wurden die verschiedensten Fragestellungen zur Beheizung der Kirche während der Veranstaltungen wie auch zur Grundtemperierung in den nutzungsfreien Zeiträumen mit den rechnerischen Untersuchungen behandelt und größtenteils geklärt. Aber auch die Folgen des Öffnens und Schließens von je drei sich einander gegenüber liegenden Fenstern an der Süd- und

Nordfassade auf die Raumluftverhältnisse im Umfeld der Orgel und der Kirche wurden analysiert.

So zeigten die Berechnungen, dass gerade hinter dem Orgelprospekt an der kalten Westwand die Anordnung von Heizflächen einen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung der Raumluftverhältnisse leistet. Doch ist eine bedarfsabhängige Regelung der Wärmeabgabe zwingend erforderlich. Wird auf Heizkörper hinter dem Orgelprospekt verzichtet, wirkt sich dies auf das Klima auf der Orgelempore nachteilig, durch die Ausbildung von Kaltluftseen, aus.

Die Ergebnisse der Parameterstudien zeigten aber auch, dass zur Einhaltung gleichbleibender Temperatur- und akzeptabler Strömungsverhältnisse die Störeinflüsse in Form von Witterung, Nutzung und Betrieb kontinuierlich zu erfassen sind. Eine stete Bewertung der Raumluftzustände erlaubt es dabei, zeitnah geeignete Regeleingriffe herauszuarbeiten, mit denen die Klimastabilität sichergestellt werden kann.



Abbildung 1 Temperaturverteilung durch Anordnung von Heizkörpern hinter der Orgel und zwischen Altar und Ostwand

#### 4 MSR-KONZEPT ZUR RAUMKLIMASTABILISIERUNG

Auf Basis der Erkenntnisse der ersten Klimamessreihe und den Ergebnissen der CFD-Simulation wurde nach Abschluss der Kirchenrenovierung ein für den Dauerbetrieb geeignetes MSR-Konzept entwickelt. Dieses sollte einerseits die Raumluftverhältnisse, die Witterungsbedingungen wie auch die Beanspruchung der historischen Substanz aufzeichnen, andererseits sollten auch die einzelnen Segmente der Fußbodenheizung wie auch die Heizkörper hinter dem Hochaltar und dem Orgelprospekt bedarfsabhängig geregelt werden können. Neben der moderaten denkmalgerechten Beheizung während der Wintermonate bestand auch der Anspruch, die Kirche während der heißen Sommermonate mittels nächtlicher Querlüftung kontrolliert zu kühlen.

Die Umsetzung der Aufgabe wurde mit einem bisher in der Gebäudetechnik kaum genutzten Bus-System, dem sog. 1-Wire Bus, realisiert. Das 1-Wire

Netzwerk dient zur Messdatenerfassung und Steuerung nahezu beliebig vieler am Bus angeschlossenen 1-Wire Bausteine. Zur Erfassung analoger Sensorsignale dienen Analog-Digital-Wandler, für Steuerungsaufgaben stehen digitale und analoge 1-Wire Bausteine zur Verfügung.

Mit einer speziell auf die bauwerksspezifische Problemstellung entwickelten Software werden seit 2006 die 144 Sensordaten visualisiert und die aus dem Bewertungsprozess abgeleiteten Regelentscheidungen aufgezeigt. Der Nutzer kann dabei abhängig der, von den Verfassern, erteilten Zugriffsrechte eingreifende Veränderungen an den Regelparametern vornehmen. Die Kontrolle der MSR-Einrichtung ist über einen Internetzugang jederzeit möglich, um einerseits die regelmäßige Kontrolle und Wartung der Anlage vornehmen und andererseits neue Software-Releases aufspielen zu können.

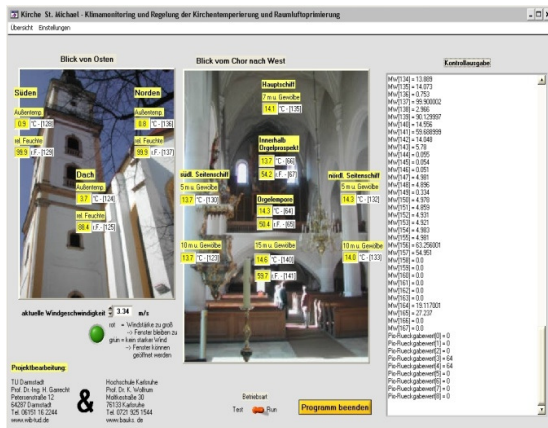


Abbildung. 1 Ausschnitt aus der visuellen Darstellung des Kirchenraums

## 5 BISHERIGE ERFAHRUNGEN

Mit den insgesamt zwanzig individuell ansteuerbaren Fußbodenheizfeldern im Kirchenraum, den drei weiteren Fußbodenheizfeldern auf der Empore sowie den ergänzenden Heizkörpern hinter dem Hochaltar und dem Orgelprospekt konnten in den vergangenen Heizperioden gleichförmige Raumklimabedingungen in der Kirche sichergestellt werden. Grundsätzlich werden in der kalten Jahreszeit außerhalb der Gottesdienste konstante Raumtemperaturen von 12°C (Grundtemperierung) gehalten. Zu den Gottesdiensten und Orgelkonzerten wird die Raumtemperatur abhängig der Nutzungswünsche auf 14 bis 16°C angehoben, wobei eine Aufheizrate von 1 Kelvin je Stunde eingehalten wird.

Zu berücksichtigen ist hierbei, dass durch die minütlich vom Wärmebedarf abhängig angesteuerten Ventile der verschiedenen Heizkreisläufe nur diejenige Heizwärme dem Raum zugeführt wird, die dieser für die Grundtemperierung bzw. für die kurzzeitige Erwärmung während verschiedener

Nutzungen benötigt. Erste Heizenergiekostenabrechnungen belegen, dass mit dem sehr differenzierten MSR-Konzept sowohl die für den Erhalt des Kulturbauwerks erforderlichen Raumklimata sichergestellt werden können, als auch ein äußerst effizienter Betrieb des historischen Bauwerks gewährleistet ist.

## 6 LITERATUR

Arendt, C.: Heizung – Problemfall historische Räume, Folge 4 Schadensbilder, Beispiele, Empfehlungen. In: Bausubstanz Nr. 3 (1992), S. 50- 52

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

Heimsch, R.: Energiesparendes Beheizen und Temperieren von historischen Gebäuden, Restoration of Buildings and Monuments 8, 379 - 394 (2002)

Scheidel, H.: Eine Orgel für Max Reger, Kießling Druck und Verlag, Weiden, 2007

Van Bos, M. and Gerardi, G.: Notre Dame des Victoires au Sablon, an Investigation of the Climate in the Church for the Environmental Management, Restoration of Buildings and Monuments 11, (2005), S. 165 - 174