

# Messauswertungen an einem historischen sakralen Gebäude Bauteiltemperierung als Feuchteschutz?

Die Bauteiltemperierung wird seit einiger Zeit, besonders im musealen Bereich sowie bei denkmalgeschützten Bauten, als Heizsystem mit Feuchteschutz propagiert. Zwar beharren deren Befürworter auf die Wirksamkeit, konnten sie aber nie durch Langzeituntersuchungen belegen. Erste Messungen geben nun Grund zu der Annahme, dass eine Flächentemperierung zum Feuchteschutz nur eingeschränkt wirksam ist.

**B**ei der Hochwasserkatastrophe im August 2002 wurde die Elbschifferkirche „Maria am Wasser“ in Dresden-Hosterwitz-Pillnitz stark betroffen. Das Gotteshaus stand damals bis zu einer Höhe von 1,85m unter Wasser. Um die durch das Hochwasser entstandenen Schäden zu beheben, wurde eine Bauteiltemperierung installiert. Diese wurde in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden messtechnisch untersucht [1, 2, 3] und sollte

- die Bausubstanz, nach ausgiebiger Trocknung der Gebäudehülle, trocken halten,
- aufsteigende Feuchte vermeiden bzw. vermindern,
- Sommerkondensation, hervorgerufen durch Zufuhr feucht-warmer Luft, vermeiden,
- die Behaglichkeit durch höhere Oberflächentemperaturen der Außenwände gewährleisten bzw. erhöhen und



Fotos: Kirchengemeinde „Maria am Wasser“

Bild 1 Die Barockkirche „Maria am Wasser“ in Dresden-Hosterwitz-Pillnitz stand beim Elbehochwasser im August 2002 fast zwei Meter tief im Wasser



- möglichst geringe zeitliche Änderungen der Raumlufttemperatur und der Raumluftfeuchte für die erneuerte Orgel einhalten.

## Heizsystem

Die Heizlast der Kirche beträgt ca. 70 kW und wird vorrangig über eine Warmluftheizung und in nicht ständig genutzten Räumen durch Heizkörper abgedeckt. Auslegungsbedingungen sind dabei eine Außenlufttemperatur von  $-14^{\circ}\text{C}$  und eine Raumlufttemperatur von  $15^{\circ}\text{C}$ . Die Warmluftheizung dient der Aufrechterhaltung des Raumklimas und ermöglicht es, Änderungen des Raumklimas mit dem

maximal zulässigen Temperaturgradienten von 0,5 bis  $1,5\text{K/h}$  bei einer Feuchtevorrangregelung im Bereich zwischen 45 und 75% rel. Feuchte vorzunehmen. Im Fensterbereich (Einfachverglasung) wirken zusätzlich Konvektoren dem Kaltlufteinfall entgegen.

Als Unterstützung wurde eine Bauteiltemperierung (Wandzonentemperierung) mit einer Leistung von ca. 5kW installiert. Diese läuft ganzjährig und ist technisch vom Raumlufttemperierungssystem entkoppelt. Die Rücklauftemperatur ist auf  $20^{\circ}\text{C}$  begrenzt. Ihre Wärmeversorgung erfolgt über eine im Dachraum der Kirche installierte Luft/Wasser-Wärmepumpe. Die „Außenluft“

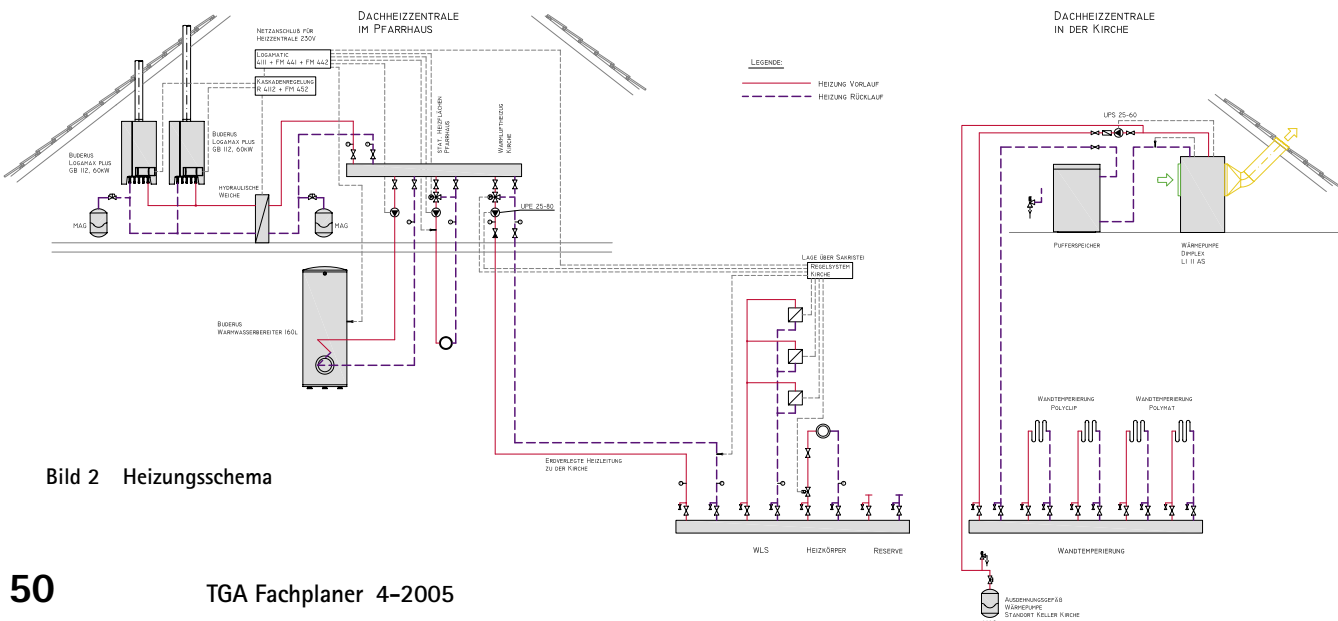


Bild 2 Heizungsschema

Foto: Ing.-Büro Dr. Scheffler & Partner



Foto: Trojisch

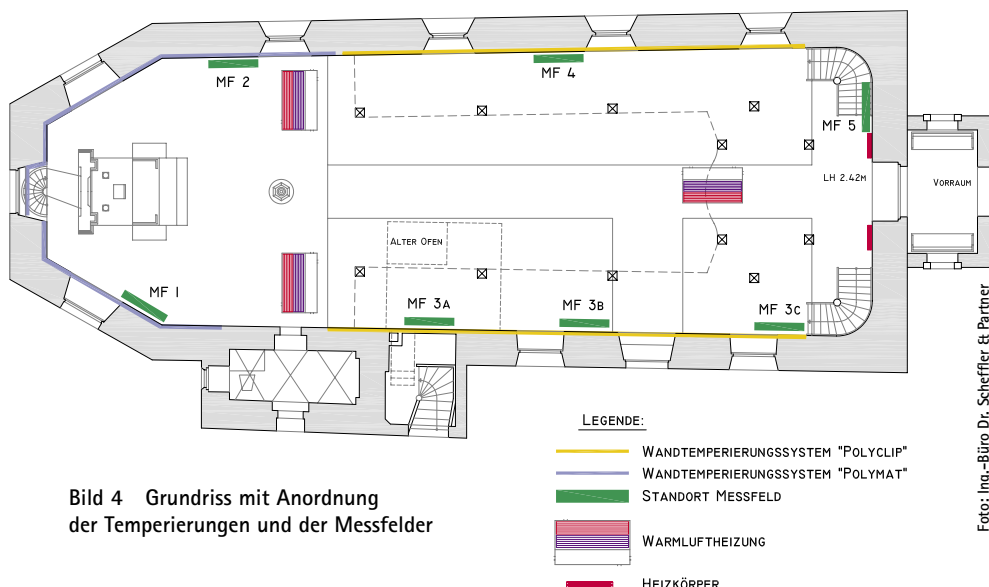
**Bild 3** Anordnung der Polymat-Wandheizung im Altarbereich

wird aus dem Dachraum gesaugt. Die Abluft wird über eine Öffnung in der südlich orientierten Dachfläche nach außen geleitet. Ein Pufferspeicher zwischen Wärmepumpe und Bauteiltemperierung senkt die Betriebszeiten der Wärmepumpe [4] (Bild 2).

Zur Bauteiltemperierung kamen zwei Systeme in räumlich voneinander abgegrenzten Bereichen zum Einsatz. Im Altarbereich wurden „Polymat“-Kapillarrohmatten (Polytherm) eingesetzt (Bild 3). Im Gestühlbereich der Kirche kam das Kunststoffrohrsystem „Polyclip“ (Polytherm) mit einem Verlegeabstand von ca. 40cm auf den systemeigenen Clipschienen zum Einsatz. Die Verlegehöhen betragen im Altarbereich (Polymat) bis zu 1,6m. Das im Gestühlbereich installierte Polyclip-System hat eine Verlegehöhe von rund 1,4m. Beide Rohrsysteme wurden direkt auf das Mauerwerk aufgebracht und mit einer Putzstärke von ca. 3 bis 8 cm überdeckt [5].

## Anordnung der Messfelder

Da die in [2] verwendeten Messfelder (MF) nicht eindeutig determiniert waren, wurden für die vorliegenden Untersuchungen sieben neue Messfelder gewählt (Bild 4).



**Bild 4** Grundriss mit Anordnung der Temperierungen und der Messfelder

Foto: Ing.-Büro Dr. Scheffler & Partner

Auswahlkriterien waren die Lage der Felder (Nord-/Südwand) und die installierten Temperierungssysteme. Die Messfelder MF 3A-C wurden an der Nordwand (Polyclip) angebracht, um feststellen zu können, ob sich Veränderungen trotz scheinbar gleicher Randbedingungen ergeben. Zu Vergleichszwecken wurde ein nichttemperiertes Feld (MF 5) im Bereich des Treppenaufgangs (Orgel) eingerichtet. Die Messfelder bestanden aus 45 (MF 1 und 2) bzw. 30 (MF 3A-C und 4) und 32 (MF 5) Messpunkten. Der Messwert jedes einzelnen Punktes wurde als Mittelwert ( $n=10$ ) gebildet. Bei den Messfeldern 1 und 2 wurden die Messungen in einem nichttemperierten und einem temperierten Bereich vorgenommen.

Von Ende April bis Mitte Juli 2004 wurde an 21 Tagen gemessen. Die ganztägigen Messungen wurden jeweils montags und donnerstags durchgeführt. Der Montag wurde gewählt, um Auswirkungen von Veranstaltungen in der Kirche am Wochenende erkennen zu können. Der Donnerstag wurde gewählt, um ein mögliches Abklingen der zu messenden Werte nachweisen zu können.

Da eine nachvollziehbare Einschätzung der ermittelten Werte für die Feuchte und die Oberflächentemperatur des Mauerwerks nur bei Kenntnis bestimmter Randbedingungen wie Besucherzahl, Außenluftbedingungen (Temperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung), sinnvoll ist, wurden diese ebenfalls erfasst.

Luftfeuchte, Außenlufttemperatur und Raumlufttemperatur wurden mittels Datenlogger (1/2-stündige Aufzeichnung) registriert. Die Besucherzahl wurde von der Kirchengemeinde erfasst und aus ihnen mit einem Mittelwert von 70g/(h Pers) die zugeführte Wasserdampfmenge hochgerechnet. Aus organisatorischen Gründen konnten nur die Besucher der kirchlichen Veranstaltungen

erfasst werden. Relativierend lässt sich jedoch festhalten, dass die Besucherzeiten in den Zeiten ohne Veranstaltungen, in denen auch die Messungen stattfanden, als sehr gering und für einen möglichen Feuchteeintrag in das Mauerwerk als vernachlässigbar anzusehen sind. Daten der Globalstrahlung wurden von einer ca. 5km entfernten Messstation im Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden (ILK) aufgezeichnet.

## Oberflächentemperaturmessung

Um die beiden verwendeten Temperierungssysteme auf eine mögliche unterschiedliche Wärmeentwicklung an der Putzoberfläche zu untersuchen, wurden Temperaturmessungen vorgenommen. Diese Messungen wurden parallel zu den Feuchtemessungen an jedem Messtag durchgeführt. Alle Temperaturmessungen wurden im selben 25-cm-Raster wie für die Feuchtemessung vorgenommen. Die Wandoberflächentemperatur wurde mit einem berührungslos arbeitenden Infrarotthermometer erfasst. Die ermittelten Oberflächentemperaturen wurden neben der „Standard-Auswertung“ mittels MS-Excel auch manuell in das Programm Moist-Analyse 3.01 übertragen und als „Thermogramm“ visualisiert.

Dadurch wurden signifikante Unterschiede des Temperaturverlaufs der beiden Temperiersysteme erkannt. Besonders zeichnete sich dabei der Verlegeabstand im Temperaturbild des Heizsystems Polyclip ab. Um diese Messungen noch genauer vornehmen zu können, wurde hier der Rasterabstand auf 5 cm verkleinert. Die Messpunkte wurden dabei in einer Breite von sechs Messpunkten (25 cm) und über die gesamte Höhe der Messfelder eingerichtet.

Auf Basis der Messungen wurde berechnet, dass die durch das Temperiersystem Polymat beheizten Messfelder 1 und 2 eine um ca. 3K höhere mittlere Oberflächentemperatur aufweisen als die Polyclip-beheizten Felder 3A-C und 4. Gegenüber dem nichttemperierten Messfeld 5 liegt diese Temperatur um ca. 6,5K höher. Deutlich zu erkennen war auch die gleichmäßige Verteilung der Oberflächentemperatur im Polymat-Messfeld. Im MF 4 mit dem im Abstand von 40 cm verlegten Polyclip-System ist der Oberflächentemperaturverlauf dagegen sehr ungleichmäßig und von der Lage der einzelnen Rohre stark geprägt.

## Feuchtemessung

Die Ergebnisse der Feuchtemessungen über den in [3] betrachteten Zeitraum vom 18. April bis 15. Juli 2004 zeigen die Bilder 5 und 6. Um auf mögliche Zusam-

menhänge der Materialfeuchte und den erfassten Randbedingungen schließen zu können, wurden die Diagramme untereinander angeordnet. Die Messfelder 3A-C wurden auf ein Messfeld reduziert, da sie sehr gut übereinstimmten. Zur Auswertung der Daten wurde deswegen nur noch das Messfeld 3A herangezogen. Die Feuchtemessung mit ihren Möglichkeiten, Einsatzgrenzen und der Genauigkeit am untersuchten Objekt ist in [6] dokumentiert.

Deutlich ist an der Oberfläche der Wände ein jeweils Ende Mai einsetzendes Ansteigen der Materialfeuchte zu erkennen. Nach dem Anstieg ist diese ab Mitte Juni wieder relativ konstant. Die im gleichen Diagramm eingetragene Wasserdampfbelastung durch Personen lässt keinen direkten Zusammenhang mit den Anstiegen der Feuchtwerte erkennen. Dies wird aus den beiden Hauptbelastungen am 12. Juni und 19. Juni deutlich, einem Zeitpunkt, wo der Anstieg der Feuchte als abgeschlossen bezeichnet werden kann. Im mittleren Tiefenbereich (ermittelt nach dem Mikrowellen-Feuchtemessverfahren mit dem Messkopf MOIST-P, siehe Kasten) [1, 3, 6] ist dieses Verhalten weit weniger ausgeprägt. Auch hier liegt zwar ein Anstieg der Materialfeuchte vor, der aber kaum augenscheinlich zu erkennen ist.

Die Feuchtebelastung durch Personen unter den gegebenen Randbedingungen ist deshalb kaum als eine Ursache für eine Feuchtezunahme zu werten. Die Diagramme der relativen Luftfeuchte und der Temperatur (außen wie innen) in Bild 5 (oben und Mitte) zeigen einen parallelen Verlauf. Während die relative Luftfeuchte über den gesamten Messzeitraum hinweg linear sinkt, steigen die Werte für Innen- und Außentemperatur an.

Besonders ausgeprägt ist dieser Anstieg in der Periode, in der auch steigende Feuchtegehalte des Mauerwerks gemessen wurden. Dies macht auch einen mindestens indirekten Zusammenhang zwischen den äußeren Klimawerten deutlich. Nicht verifizierbar ist der Lüftungseinfluss durch Fugenlüftung aufgrund der Gebäudeundichtigkeiten. Die über den Messzeitraum hinweg steigende Lufttemperatur ist in der Lage eine erhöhte Wasserdampfproduktion vermehrt aufzunehmen.

Ein direkter Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und Materialfeuchte konnte kaum abgeleitet werden. So steigt der Mittelwert zwar jahreszeitabhängig leicht an, doch sind auftretende Spitzen nicht dem Feuchteverhalten der in Südausrichtung liegenden Messfeldern (MF 1 und 4) übereinstimmend zuzuordnen.

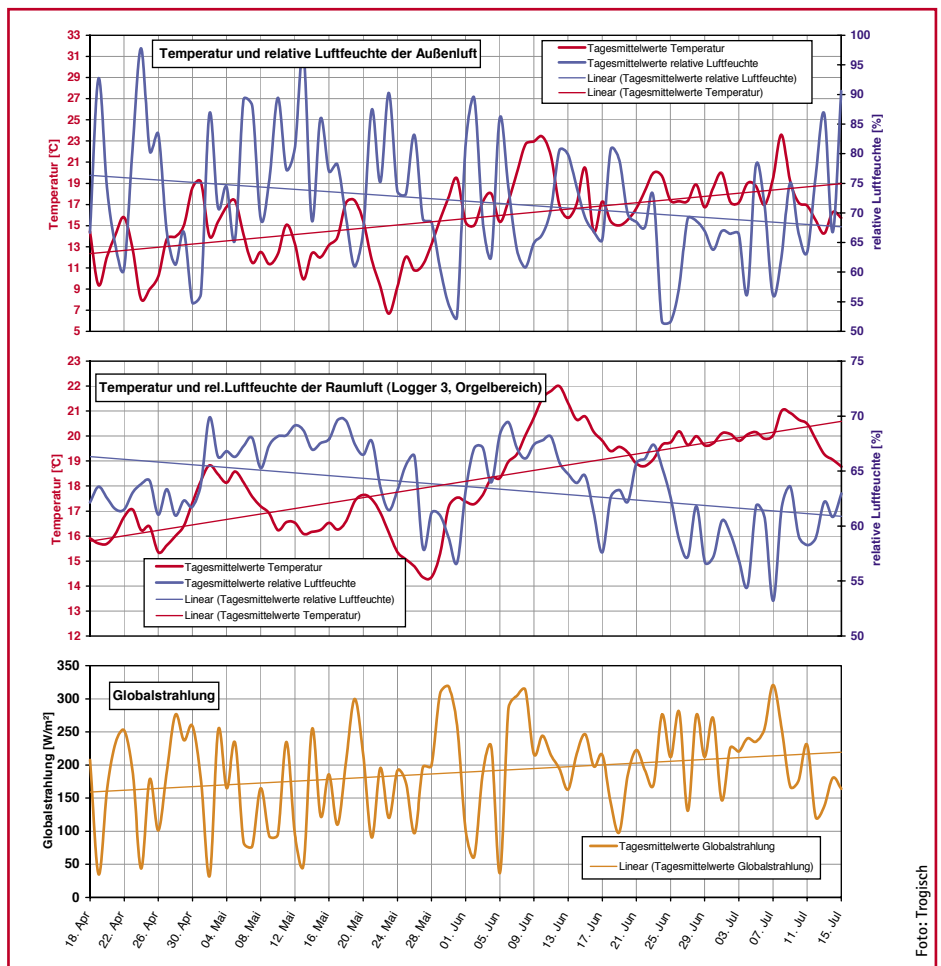


Bild 5 Außenluftzustand (oben), Raumluftzustand (Mitte), Globalstrahlung (unten)

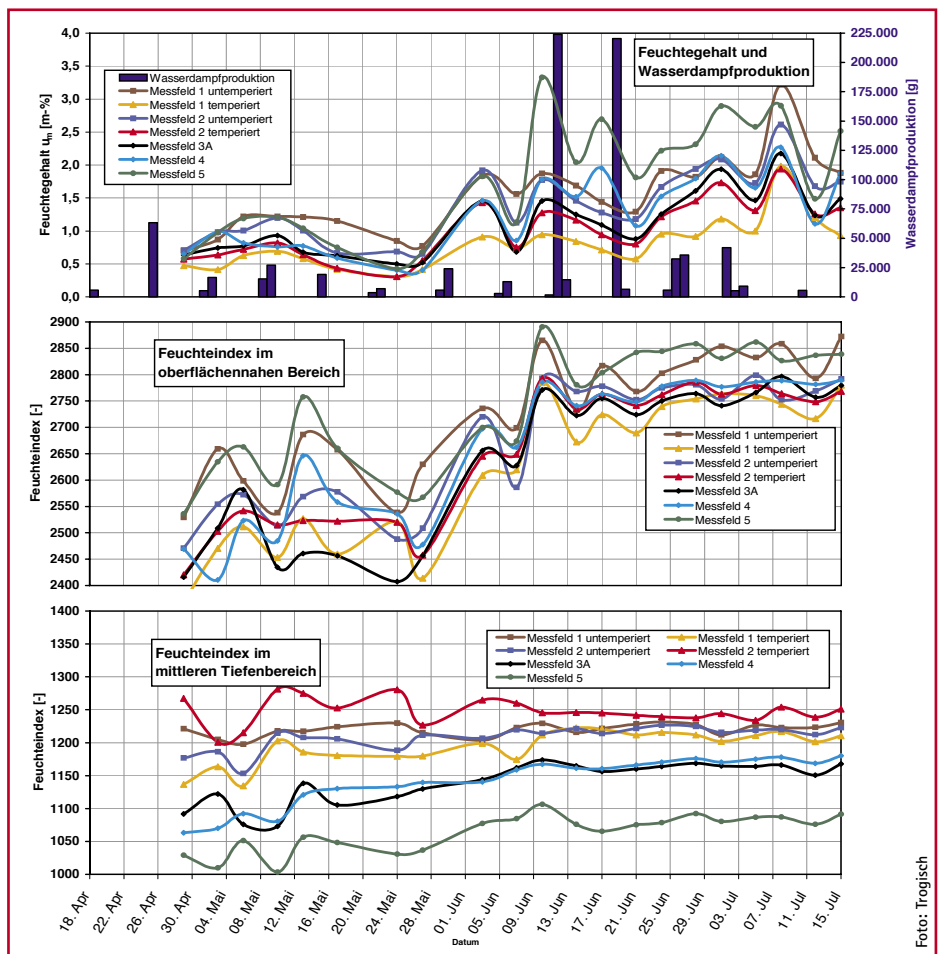


Bild 6 Feuchtemessungen in den Messfeldern 1 – 5 und berechnete Wasserdampfproduktion (Personen). Feuchtegehalt im oberflächennahen Bereich (oben), Feuchteindex im oberflächennahen Bereich (Mitte), Feuchteindex im mittleren Tiefenbereich



## Mikrowellen-Feuchtemessverfahren

Das Mikrowellen-Feuchtemessverfahren von hf-sensor basiert auf den besonderen dielektrischen Eigenschaften des Wassers. Wasser ist ein polares Molekül. Die Ladungsschwerpunkte von Wasserstoff- und Sauerstoffionen fallen innerhalb des Moleküls örtlich nicht zusammen – sie bilden einen Dipol. Deswegen richtet sich das Wassermolekül in einem von außen angelegten elektrischen Feld aus, es ist polarisierbar.

Wird ein elektromagnetisches Wechselfeld angelegt, dann beginnen die Moleküle mit der Frequenz des Feldes zu rotieren. Bei hohen Frequenzen können nur noch die Wassermoleküle dem anregenden Feld folgen. Der dielektrische Effekt ist bei Wasser sehr stark ausgeprägt, bei den meisten Feststoffen jedoch sehr viel kleiner. Wegen des großen Unterschiedes zwischen diesen Werten lassen sich auch sehr kleine Wassermengen detektieren. [www.hf-sensor.de](http://www.hf-sensor.de)



Fotos: hf-sensor

Bild 7 Volumenmesskopf MOIST-P zur Volumensmessung (Feuchteindex) und Oberflächenmesskopf MOIST-R (unten)

## Schlussfolgerung

Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand und Messauswertung kann geschlussfolgert werden, dass die installierte Bauteiltemperierung ihren Einsatz als Feuchteschutz nur eingeschränkt rechtfertigt. Steigende Werte der Mauerwerksfeuchte können nicht verhindert werden. Der Zusammenhang zwischen Materialfeuchte und Außen- bzw. Raumklimawerten wird durch die Unterstützung der Kirchengemeinde bis voraussichtlich August 2005 weiter untersucht.

Der Komfortanstieg ist durch eine erhöhte Oberflächentemperatur jedoch nachweisbar. Dieser Anstieg der Oberflächentemperatur durch die Bauteiltemperierung schützt bei ganzjährigem Betrieb in den temperierten Bereichen zudem vor Sommerkondensation.

Nur aus Langzeituntersuchungen zu Systemen wie Bauteiltemperierung oder Betonkernaktivierung können deren Wirkung und Effektivität nachhaltig dokumentiert

werden. Das setzt ein erhebliches Engagement von Auftraggeber, Nutzer und Planer voraus und kann/sollte zweckmäßigerweise unter Nutzung der Möglichkeiten der studentischen Ausbildung erfolgen. ←

## Literatur

- [1] Trogisch, A.: Bauteiltemperierung als Feuchteschutz. Stuttgart: Gentner Verlag, TGA Fachplaner 5-2004
- [2] Haase, St.: Untersuchungen zur Beheizung von Kirchenräumen mit Bauteiltemperierung als Feuchteschutz – Möglichkeiten und Grenzen, Dresden: HTW, Diplomarbeit (unv.), 2004
- [3] Peusch, A.: Untersuchungen zur Beheizung von Kirchenräumen mit Bauteiltemperierung als Feuchteschutz – Messungen, Dresden: HTW, Diplomarbeit (unv.), 2004
- [4] Scheffler, S.: Beschreibung der Warmluftheizungsanlage mit Bauteiltemperierung für die Schifferkirche „Maria am Wasser“ Dresden-Hosterwitz. Dresden: Ingenieurbüro Dr. Scheffler & Partner GmbH, (unv.), 2004
- [5] Krause, A.: Fachberaterbericht zum Bauvorhaben Ev.-luth. Kirchengemeinde „Maria am Wasser“ Dresden-Hosterwitz. Dresden, (unv.), 2004

- [6] Pusch, A., Trogisch, A., Scheffler, S.: Erfahrungen bei der Anwendung eines indirekten Materialfeuchtemessverfahrens. Gütersloh: Bauverlag, TAB 5-2005 (angekündigt)

Prof. Dr.-Ing. Achim Trogisch lehrt an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH) im Fachbereich Maschinenbau/Verfahrenstechnik auf dem Gebiet TGA. Telefon (03 51) 4 62 27 89, Telefax (03 51) 4 62 21 90, E-Mail: [trogisch@mw.htw-dresden.de](mailto:trogisch@mw.htw-dresden.de)



Dr. Stefan Scheffler, Ing.-Büro Dr. Scheffler & Partner, 01277 Dresden, Telefon (03 51) 25 46 90, E-Mail: [info@ib-scheffler.de](mailto:info@ib-scheffler.de), [www.ib-scheffler.de](http://www.ib-scheffler.de)



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Peusch, Institut für Luft- und Klimatechnik, 01309 Dresden, [www.ilk-dresden.de](http://www.ilk-dresden.de)

