Sachverständiger
Steffen Sabin
Bauphysik / Schadstoffanalysen
- Schimmelpilzmessungen
- Raumklimaanalysen, Schadstoffmessungen
- Mauerwerksanalysen, Feuchtemessungen
- Hygieneinspektionen RLT Anlagen VDI 6022
- Sanierungskonzeptionen

Lebus, den 25.05.2009

Abschlussbericht
Thermische Konservierung im Beinhaus
Münster Bad Doberan

Objekt : Beinhaus am Münster Doberan, freistehend

Anschrift : Münster Bad Doberan
18209 Bad Doberan

Auftraggeber : „Einfach gut Gebaut“
Herr Ingo Rhein
Bäderstraße 19
18375 Born a. Darß

Untersuchungsauftrag: Abschlussmessung 1 Jahr nach Inbetriebnahme der Wandtemperierheizung (Sockelheizleisten) im Beinhaus. Bauphysikalische Bewertung der raumklimatischen Situation und der Feuchtegehalte der Außenwände.

Der Untersuchungsbericht wurde am 25.05.2009 erstellt und umfasst 15 Seiten einschließlich Deckblatt.

Inhaltsübersicht:

1. Aufgabenstellung
2. Bauliche Grundlagen vor Ort
3. Beschreibung Wandheizungsanlage
4. Messergebnisse Wandfeuchteanalyse
5. Messergebnisse Raumklimaanalyse
6. Zusammenfassung

Dieses Gutachten einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung auch von Teilen außerhalb des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

1. Aufgabenstellung

Im Mai 2007 wurde basierend auf den umfangreichen Vor-Untersuchungen durch verschiedene Sonderfachleute eine Machbarkeitsstudie zur thermischen Konservierung des Beinhauses und der historischen Wandmalereien durch den Autor erstellt.
In dieser Machbarkeitsstudie wurden die theoretischen Voraussetzungen und Randbedingungen zur Realisierung eines solchen Konzeptes erläutert und eine grundsätzliche Eignung der thermischen Konservierung untersucht.
Im Mai 2008 erteilte der Eigentümer des Objektes (Evangelisch Lutherische Kirchgemeinde Bad Doberan) an den Autor den Auftrag, das Beinhaus einer detaillierten bauphysikalischen Untersuchung zu unterziehen. Im Rahmen dieser Untersuchung sollte u.a. auch eine Kartierung der Wandfeuchteverteilungen im Sockelbereich des Beinhauses erstellt werden.
Zusammenfassend wurden bei dieser Untersuchung massive Durchfeuchtungen im gesamten Sockelwandabschnitt (0-120 cm über Fußboden innen -OKFF-) nachgewiesen. Erschwerend war zusätzlich eine ungenügende Schlagregendichtigkeit der Ziegelaußenfassade, als auch eine noch hohe Salzbelastung im Innenbereich des Beinhauses (Nitrat-Ionen) in einer Höhe von ca. 1,2 m über OKFF messbar.
Da auch mit dieser Untersuchung die Notwendigkeit einer Sanierung der Bausubstanz bestätigt wurde, entschied der Eigentümer des Beinhauses, der Empfehlung der Machbarkeitsstudie zu folgen und eine Wandheizung (Sockelleistenheizung) des Herstellers „radia-therm“ installieren zu lassen.
Bestandteil dieser Sanierungsmaßnahme war zusätzlich die Installation einer Datenaufzeichnungsanlage zur rückschauenden Analyse der bauphysikalischen Raumklimaveränderungen im temperierten Beinhaus.
Im Monat Juli 2008 wurde im Beinhaus eine Sockelleistenheizung der Firma „radiatherm“ installiert und in Betrieb genommen. Die Datenaufzeichnung des Raumklimas im Beinhaus wurde bereits seit dem Monat Juni 2008 durchgeführt.
Nach Ablauf einer Heizperiode soll mit der Nachuntersuchung des Beinhauses im Mai 2009 ein Nachweis über die Erfüllung oder Nichterfüllung der zugesagten Leistungsparameter der thermischen Konservierung erbracht werden.

2. Bauliche Grundlagen vor Ort

Bei dem zu konservierenden Gebäude handelt es sich um das Beinhaus des Münsters Bad Doberan. Es wurde in Vollziegel- Wandbauweise errichtet, besitzt sieben bleiverglaste Fenster und eine nach Westen gerichtete Außentür. Die Dacheindeckung besteht aus gefalzten Blechen die mit einem geringen Dachüberstand über eine Dachrinne mittels Speiern entwässert wird. Die Außenwände des Beinhauses bestehen aus gebrannten Klinkerziegeln mit einer mittleren Rohdichte von 2127 kg/m³, teilweise sind die Ziegel im Außenfassadenbereich glasiert. Im unteren Bereich der Außenfassade ist ein großer Teil der glasierten Ziegeloberflächen bereits abgewittert. Im Innenbereich sind die Außenwände mit einem Kalkputz unbekannter Zusammensetzung verputzt. Auf diesen Putzflächen sind zu erhaltende Wandmalereien mit einer Farbschicht unbekannter Zusammensetzung aufgebracht. Die innenseitigen Putzflächen der Außenwände sowie die darauf befindlichen Wandmalereien sind von Ausblühungen und Absprengungen durch Salze betroffen.
Aus den Untersuchungsberichten der verschiedenen Fachleute aus den Bereichen der Denkmalpflege und der beteiligten Restauratoren, geht eine sehr bewegte, vor allem aber eine zu großen Teilen unbekannte Geschichte und Nutzungsbedingung des Beinhauses hervor.

Die umfangreichen Untersuchungsberichte des Herrn Frank Sakowski (Baugeschichtliche Untersuchung 12/2002) sowie der Restauratoren unter Herrn B. Frohberg (Dokumentation zur Untersuchung und Notsicherung der Wandmalereien 12/2002) verweisen auf mehrere Umbau- und Restaurierungsphasen in der Geschichte des mehr als 700 Jahre alten Gebäudes. Dabei kamen die verschiedensten Dachkonstruktionen und auch Wandbaustoffe zum Einsatz. Auch die Wandmalereien wurden mindestens zweimal überarbeitet.
Nachdem unter dem Innenputz eine Teerhaltige Beschichtung unbekannter Zusammensetzung und unbekannten Alters gefunden wurde, ist davon auszugehen, dass es schon in der Vorzeit Probleme mit Wanddurchfeuchtungen oder mit der Hygiene im Gebäude gab.
Teerbeschichtungen wurden früher oft zur Kaschierung von Feuchteproblemen oder aus antiseptischen Anforderungen heraus auf Innenwänden aufgebracht.

3. Beschreibung Wandheizungsanlage

Installiert wurden Sockelheizleisten des Herstellers „radiatherm“ mit elektrisch beheizten Heizregistern. Auf Grund der ungewöhnlichen Bauform des Beinhauses (8-eckiger Grundriss) wurden die Heizleisten umlaufend im Sockelbereich installiert und mit einer Holzverkleidung versehen (Bild 1). Die installierte Gesamtheizleistung beträgt 4,2 kW. Die Sockelleistenheizung wird jeweils im Bereich der Eingangstür und des Altars unterbrochen.
Im Vorfeld der Anlageninstallation wurde gemeinsam vom Autor und vom Ingenieurbüro Ulrich vom Schloss eine spezielle Mikroprozessorgesteuerte Regelungsanlage mit speziellen Sensoren entwickelt und an die speziellen Erfordernisse des Beinhauses softwaretechnisch angepasst (Bild 2).
Das Temperierheizsystem hat die Aufgabe, die Raumtemperatur gleitend der Außentemperatur anzupassen und **keine** Wandoberflächenfeuchte an den Innenwänden von **> 75 %** relativer Feuchte (a_w = 0,75) zuzulassen. Während des gesamten Zeitraumes (Juni 2008- Mai 2009) wurden von der Anlagenregelung ebenfalls die Klimaparameter Außentemperatur, rel. Außenluftfeuchte, Raumtemperatur, rel. Raumluftfeuchte und relative Wandoberflächenfeuchte aufgezeichnet. Leider wurden die Energieverbrauchsdaten der Sockelleistenheizung nicht aufgezeichnet (es wurde kein Unterzähler in der Haupteinspeisung des Münsters vorgesehen).

Bild 1: Sockelleistenheizung Beinhaus

Bild 2: Heizungsregelung mikroprozessorgesteuert, mit Datenerfassung und Sensoren

4. Messergebnisse Wandfeuchteanalyse

Zur Untersuchung der bauphysikalischen Randbedingungen fand am 12.05.2009 eine vor Ort-Untersuchung in der Zeit von 13.00 Uhr bis 15.30 Uhr statt.

Zur Untersuchung des Objektes wurden folgende Messverfahren und Geräte eingesetzt:

- Feuchte/ Temperaturmessgerät Testo 435/2
- Mikrowellenfeuchtemesssystem MOIST 200 B incl. Messkopf MOIST R und MOIST P, Hersteller HF- Sensor GmbH

Von der Nordwand, der Südwand und der Südwestwand des Beinhauses wurden Wandfeuchteprofile in vier verschiedenen Wandtiefenabschnitten erstellt. Diese Wandflächenmessungen wurden mit dem gleichen Messverfahren und an den gleichen Messflächen wie bei der Untersuchung vom Mai 2008 durchgeführt. Um eine hohe Wiederholgenauigkeit der Messungen zu ermöglichen, wurden insgesamt 294 Messpunkte am Objekt vermessen.
Bei dem hier verwendeten Messverfahren werden Mikrowellen in den Wandbaustoff gesendet und deren Reflexionen von einem Mikroprozessor ausgewertet. Zur Profilerstellung in einer Wand werden verschieden Messköpfe mit unterschiedlichen Eindringtiefen eingesetzt und die Messergebnisse graphisch zusammengesetzt.
Mit Hilfe einer Falschfarbdarstellung wird der Wassergehalt der Wandkonstruktion dargestellt. Grüne Bereiche zeigen normal feuchte Wandabschnitte für ein beheiztes Gebäude. Blaue Abschnitte zeigen schwache bis starke Durchfeuchtungen der Wand an, je dunkler der Blauton desto höher der Wassergehalt der Wand.

Zum besseren Verständnis der Ausgangssituation im Beinhaus vor der Inbetriebnahme der Sockelleistenheizung 06/2008, wird nachfolgend aus dem Untersuchungsbericht des Jahres 2008 des Autors zitiert:

…„Zusammenfassend ist festzustellen, dass vor allem über das mangelhafte Fugennetz unzulässig viel Regenwasser in den unteren Wandabschnitt des Beinhauses eindringen kann. Erschwerend kommt hinzu, dass ein großer Teil der Fassadenfläche aus Fenstern besteht. Das führt zu einem verstärkten Anfall von ablaufendem Regenwasser über die Fenstergesimse auf den unteren Bereich der Fassade. An der Außenfassade des Beinhauses sind auch die stärksten Verwitterungsspuren an den unteren Ziegelabschnitten zu erkennen. Ein großer Teil der glasierten Ziegeloberflächen sind hier im Gegensatz zu den höheren Wandabschnitten schon stark zerstört. Ebenfalls ist an diesem Prozess auch der Eintrag von luftgetragenen Salzen (Chloride und Sulfate), sowie die mögliche Eintragung von Nitratsalzen aus dem Bodenbereich, der Nutzungsart des Gebäudes, tierischen Exkrementen oder pflanzlicher Substanzen beteiligt. Dieser Aufnahmeweg von Salzen konnte über einen Zeitraum von über 700 Jahren auf das äußere Mauerwerk einwirken und durch ständige Hydratations- und Kristallisationsprozesse seinen Teil zur unvermeidlichen Zerstörung beitragen.

…Auf den Messgraphiken der drei Außenfassaden ist deutlich der Einfluss der von außen eindringenden Feuchtigkeit zu erkennen. Das durch das mangelhafte Fugennetz eindringende Wasser kann jedoch zum überwiegenden Teil nur noch durch Diffusion in Dampfform wieder über die Wandoberfläche nach außen entweichen…
…Erschwerend kommt die Bildung von Sommerkondensat in der Frühjahrszeit und bei starken Undichtigkeiten der Gebäudehülle auch im Sommer dazu. Dadurch kann sich in den Außenwänden ein ungewöhnlich hoher Feuchtegehalt über die Jahre einstellen und das vorgefundene Schadensbild auf den Innenwandabschnitten und der Fassade hervorrufen….

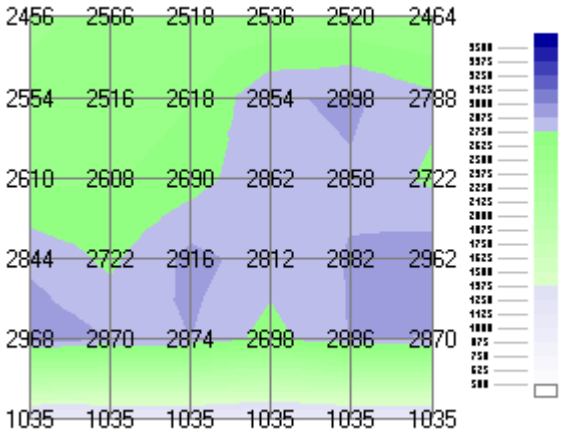
…Zusammenfassend lässt sich einschätzen, dass der im Innenwandbereich vorgefundene Versalzungsprozess sehr wahrscheinlich nicht auf aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Erdreich zurückzuführen ist….

…Die gemessenen Salzgehalte bis in eine Höhe von 1,2 m über dem Fußboden zeigen deutlich, dass in diesem Bereich vorab nachgewiesene Salze (Messergebnisse 2002) mit dem aufgebrachten Opferputz fast vollständig entfernt wurden….
…Die rein rechnerisch zu erwartende Austrocknungszeit einer zu ca. 60 % durchfeuchteten Ziegelwandkonstruktion mit einer Wandstärke von ca. 85 cm beträgt nach Cadiergues ca. 3,3 Jahre. Dieser Zeitraum wird jedoch sehr stark von den Randbedingungen Heizungsart, Raumtemperaturniveau und Lüftungsart bestimmt. Die tatsächlich notwendige Zeit bis zur Erlangung eines stabil gleitenden Innenraumklimas unter Einsatz eines Sockelheizsystems wird jedoch bedeutend kürzer sein….

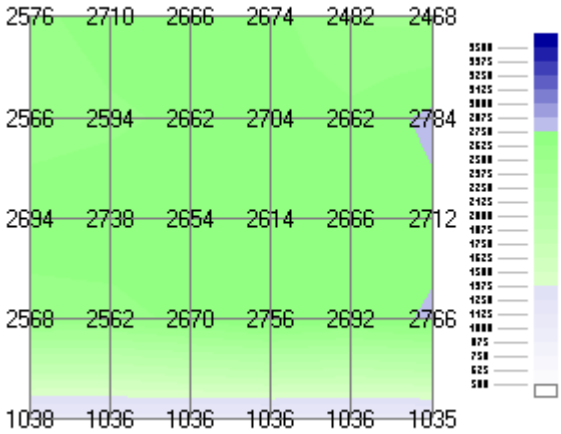
In den nachfolgenden Messgraphiken werden die Messergebnisse aus dem Jahr 05/2008 den Messergebnissen aus 05/2009 (nach Abschluss einer vollen Heizperiode) gegenübergestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Messergebnisse sind die unteren Messreihen der Innenwandmessungen in den Messtiefen 20 mm und 250 mm durch Nullwerte ersetzt, da diese Messpositionen nach Installation der Sockelheizleisten nicht mehr zugänglich waren.
Die Messflächen wurden im Innenwandbereich jeweils in einer Tiefe von 20 mm und 250 mm und im Außenbereich ebenfalls in einer Tiefe von 20 mm und 250 mm erstellt. Daraus ergibt sich dann ein Wandfeuchteprofil von 20 mm, 250 mm, 600 mm und 830 mm Wandtiefe jeweils vom Innenraum aus betrachtet.
Mit Hilfe einer Falschfarbdarstellung wird der Wassergehalt der Wandkonstruktion dargestellt. Grüne Bereiche zeigen normal trockene Wandabschnitte für ein beheiztes Gebäude (Ausgleichsfeuchte). Blaue Abschnitte zeigen schwache bis starke Durchfeuchtungen der Wand an, je dunkler der Blauton desto höher der Wassergehalt der Wand.

Nordwand 20 mm von der Innenwandseite aus gemessen

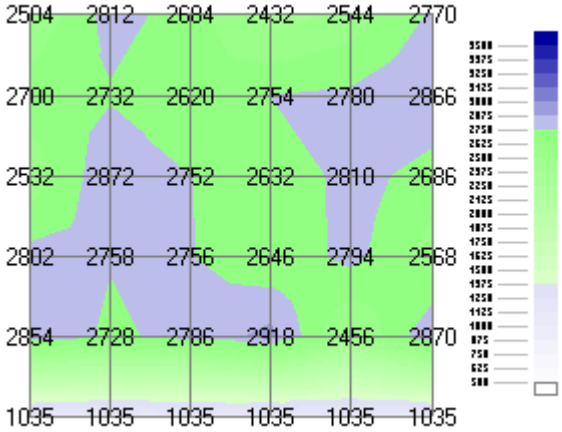
05/2008

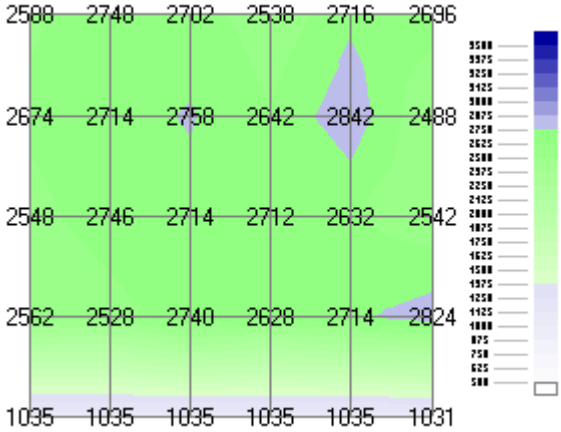


05/2009

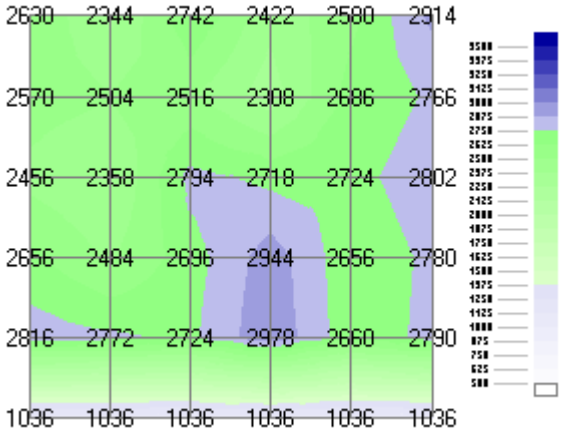


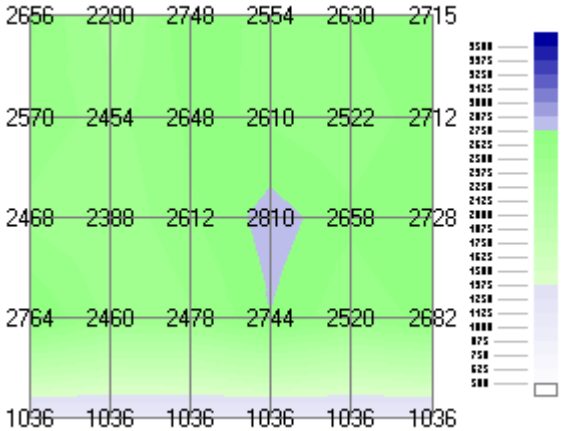
Südwand 20 mm von der Innenwandseite aus gemessen





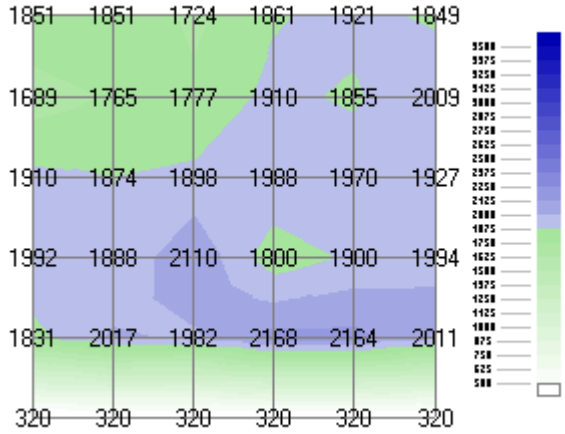
Südwestwand 20 mm von der Innenwandseite aus gemessen



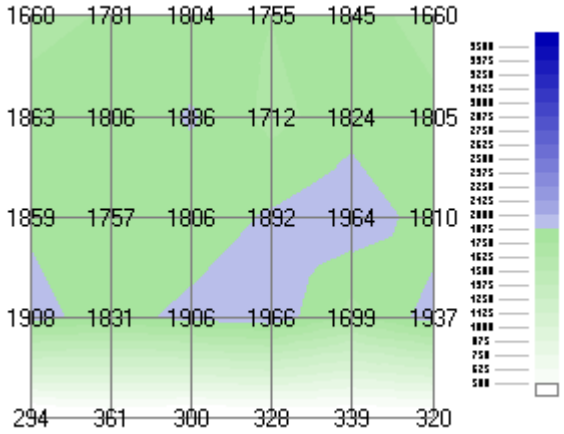


Nordwand 250 mm von der Innenwandseite aus gemessen

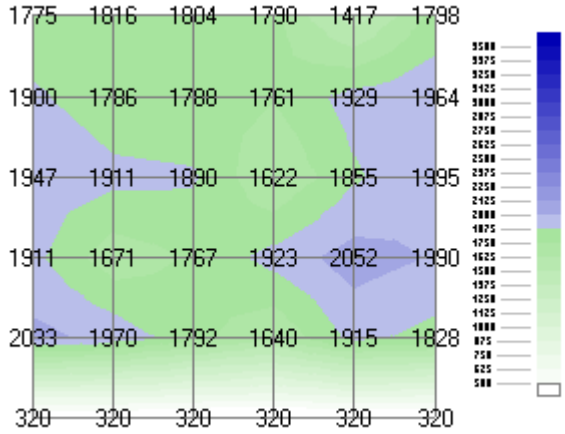
05/2008

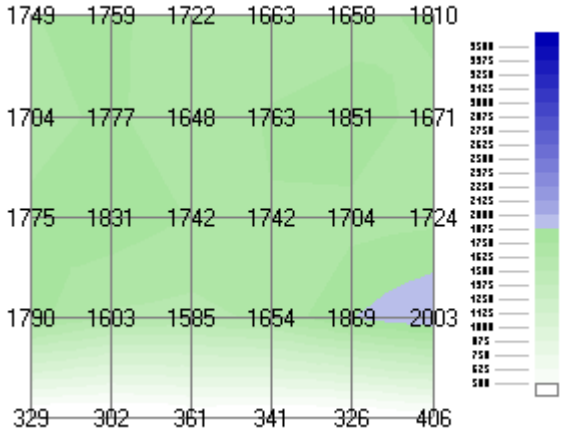


05/2009

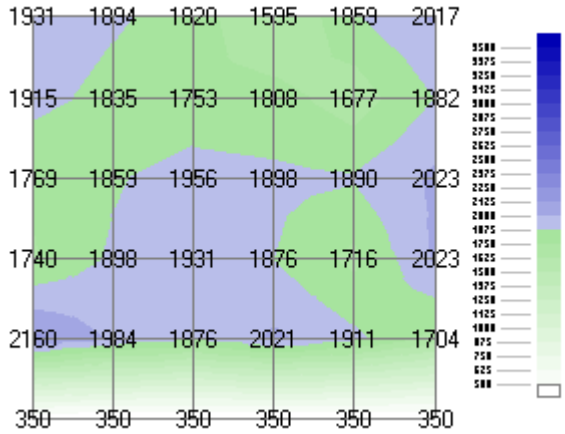


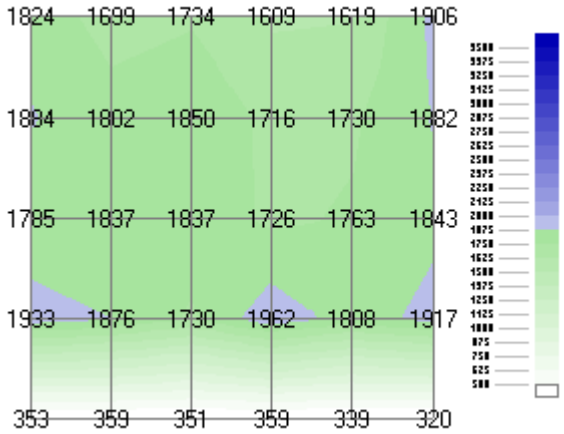
Südwand 250 mm von der Innenwandseite aus gemessen





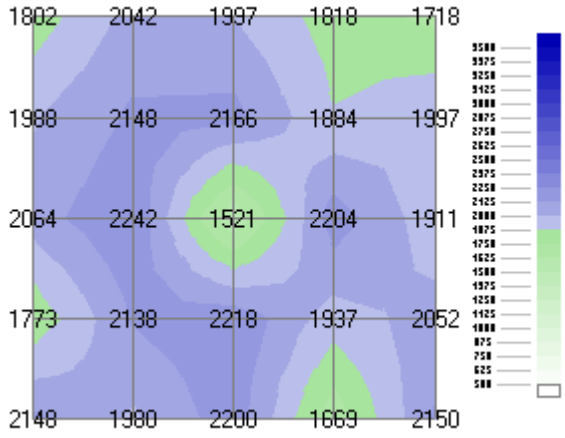
Südwestwand 250 mm von der Innenwandseite aus gemessen



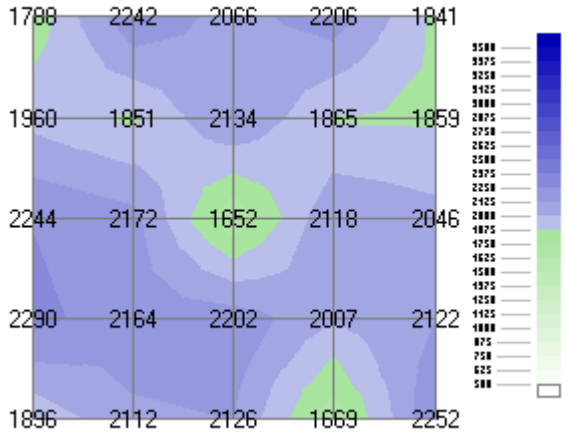


Nordwand 600 mm von der Innenwandseite aus gemessen

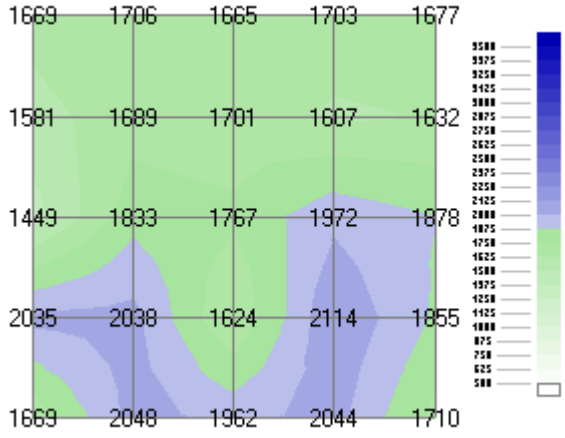
05/2008

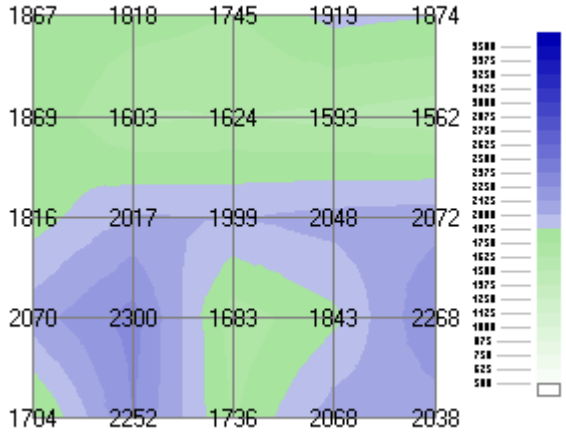


05/2009

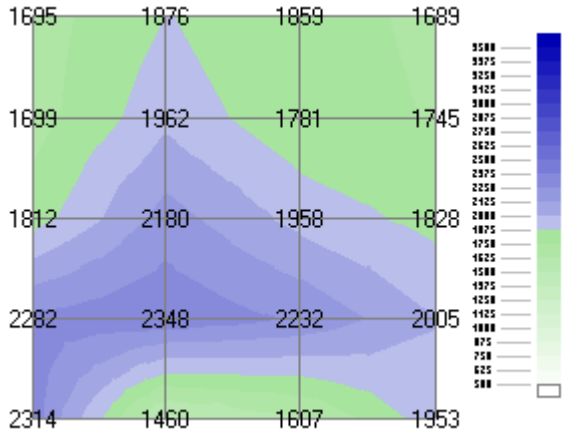


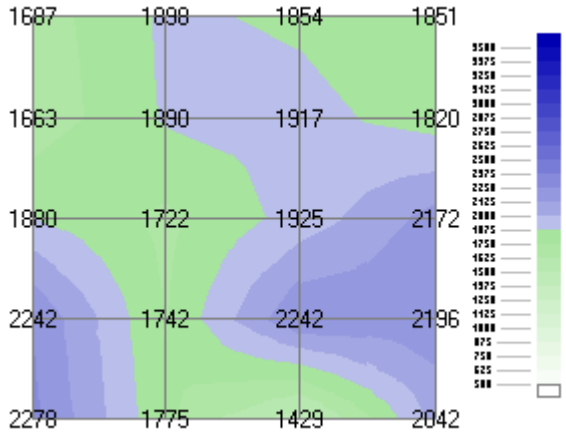
Südwand 600 mm von der Innenwandseite aus gemessen





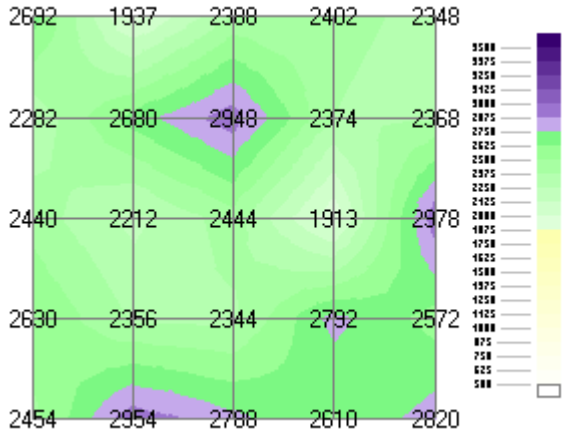
Südwestwand 600 mm von der Innenwandseite aus gemessen



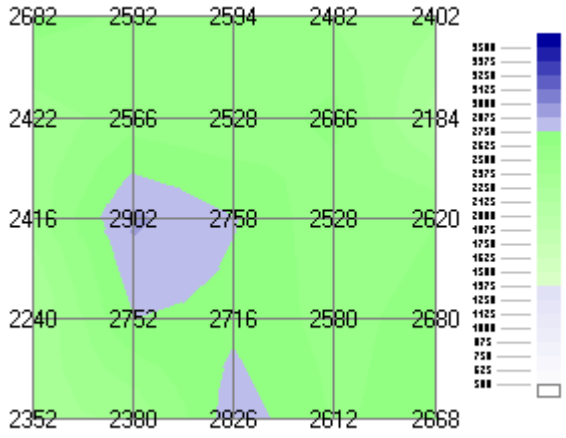


Nordwand 830 mm von der Innenwandseite aus gemessen

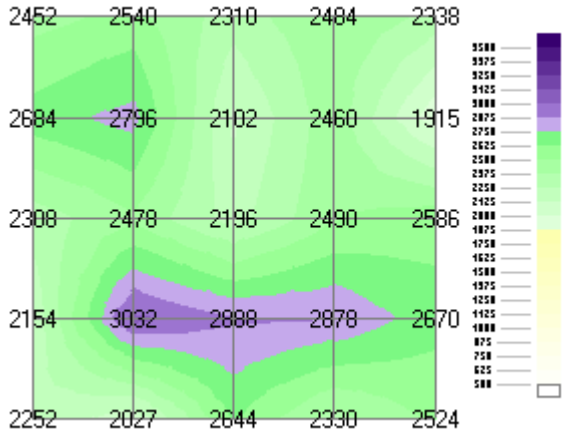
05/2008

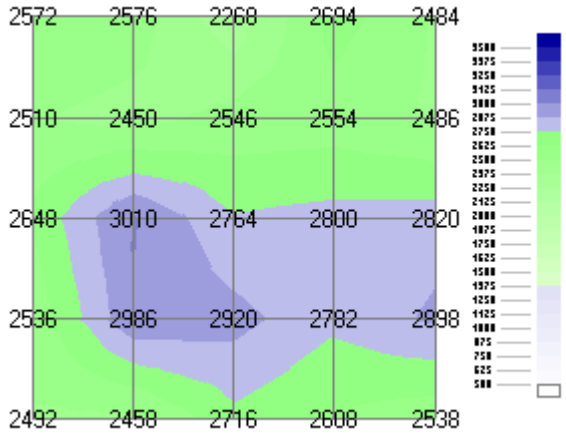


05/2009

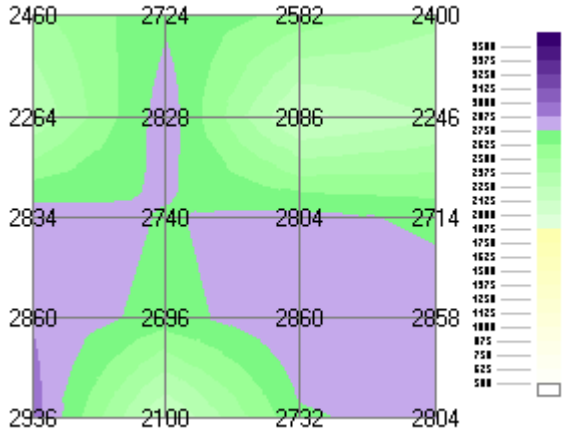


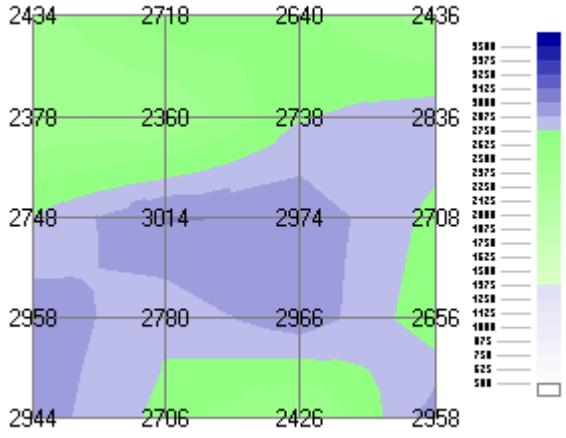
Südwand 830 mm von der Innenwandseite aus gemessen





Südwestwand 830 mm von der Innenwandseite aus gemessen



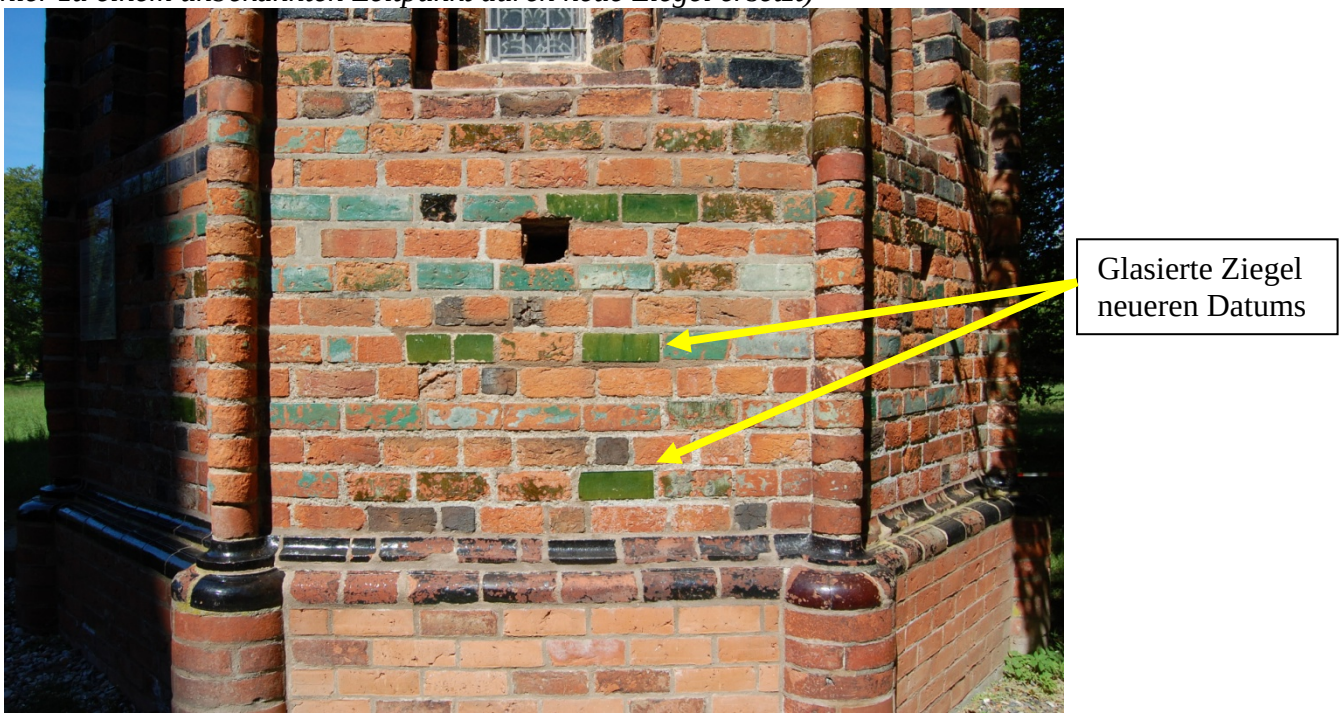


Ergebnisinterpretation:

Auf den Messgraphiken in den Messtiefen 20 mm und 250 mm Wandtiefe (aus der Innenwandsicht heraus betrachtet) zeigt sich eine fast vollständige Abtrocknung aller drei untersuchten Außenwände bis in eine Höhe von ca. 1,0 m über dem Boden nach Ablauf einer vollständigen Heizperiode am Beinhaus.
Dieses Ergebnis entspricht sowohl den Erwartungen als auch den langjährigen Erfahrungen des Autors beim Einsatz von Wandtemperiersystemen an vielen anderen historischen und neuzeitlichen Gebäuden.

Auf den Messgraphiken in den Messtiefen 600 mm und 830 mm Wandtiefe (aus der Innenwandsicht heraus betrachtet) zeigt sich keine auffällige Veränderung des hohen Wandfeuchtegehaltes.
Im Untersuchungsbericht vom 14.05.2008 wurde eine theoretische Austrocknungszeit für eine massive Ziegelwand von 850 mm Wandstärke von ca. 3,3 Jahren (nach Cadiergues) benannt. Diese Berechnungsangabe stellt einen theoretischen Wert dar, der nur erreicht werden kann, wenn kein neuer nennenswerter Feuchteeintrag von außen stattfindet. In der Untersuchung aus 2008 wurde jedoch auch ein Versagen der Außenfassade in Bezug auf die Schlagregendichtigkeit der Ziegelwand festgestellt. Das bedeutet, das auch weiterhin nennenswerte Mengen an Regenwasser in die Außenfassade eindringen werden, und somit eine regelmäßig mit den Jahreszeiten (Regenangebot, Windangebot, Sonneneinstrahlungsintensität) schwankende höhere Wandfeuchtigkeit im äußeren Wandquerschnitt hervorrufen werden.
Bei der messtechnischen Untersuchung der Außenfassade waren besonders jene Ziegelabschnitte durch höhere Feuchtemesswerte auffällig, welche durch glasierte Ziegeloberflächen bedeckt wurden (Bild 3). An diesen Wandabschnitten ist die Wasserabgabe der Außenwand nach außen durch Verdunstung behindert und bewirkt eine punktuelle Auffeuchtung der Ziegelwand.

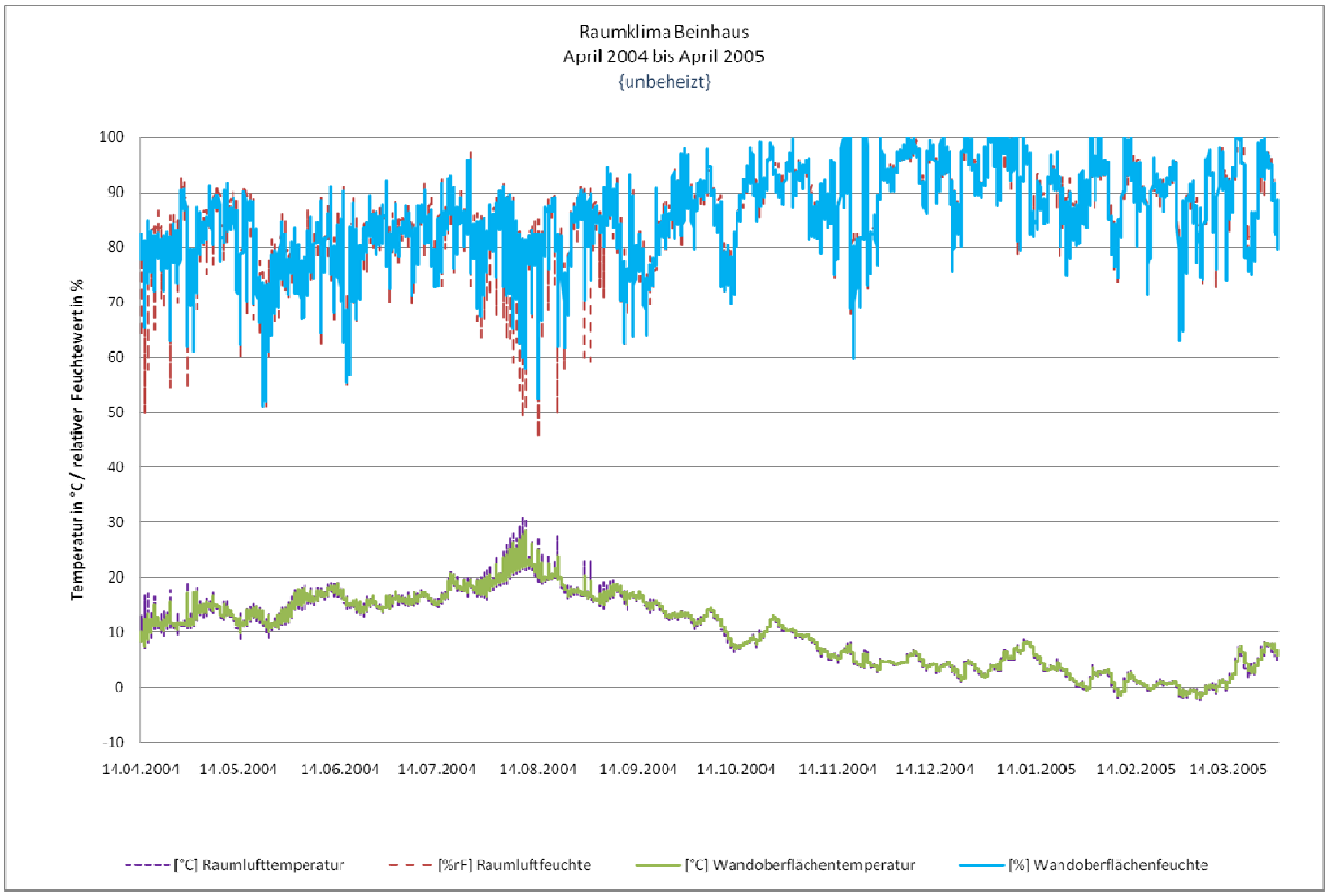
Bild 3: glasierte Ziegeloberflächen neueren Datums (historische aber zerstörte Ziegel wurden hier zu einem unbekannten Zeitpunkt durch neue Ziegel ersetzt)



4. Messergebnisse Raumlimaanalyse

Im Zeitraum 14.04.2004 bis 29.03.2005 wurden durch den Sachverständigen Herrn Dipl. Ing. Detlef Krause begleitende Raumklimamessungen mittels Datenlogger durchgeführt. Diese Messdaten können für eine Vergleichsmessung mit der Betriebszeit der Sockelleistenheizung herangezogen werden, um abzuschätzen, ob sich relevante Änderungen des Raumklimas gegenüber dem untemperierten Gebäudezustand ergeben. Die zum Vergleich herangezogenen Messdaten des Herrn Krause umfassen die Raumtemperatur, die relative Raumluftfeuchtigkeit und die Wandoberflächentemperatur im Beinhaus. Aus den zur Verfügung gestellten Rohdaten wurde die Wandoberflächenfeuchtigkeit in einer Höhe von 2,5 m über Innenfußboden errechnet.

Messdaten 14.04.2004 bis 29.03.2005



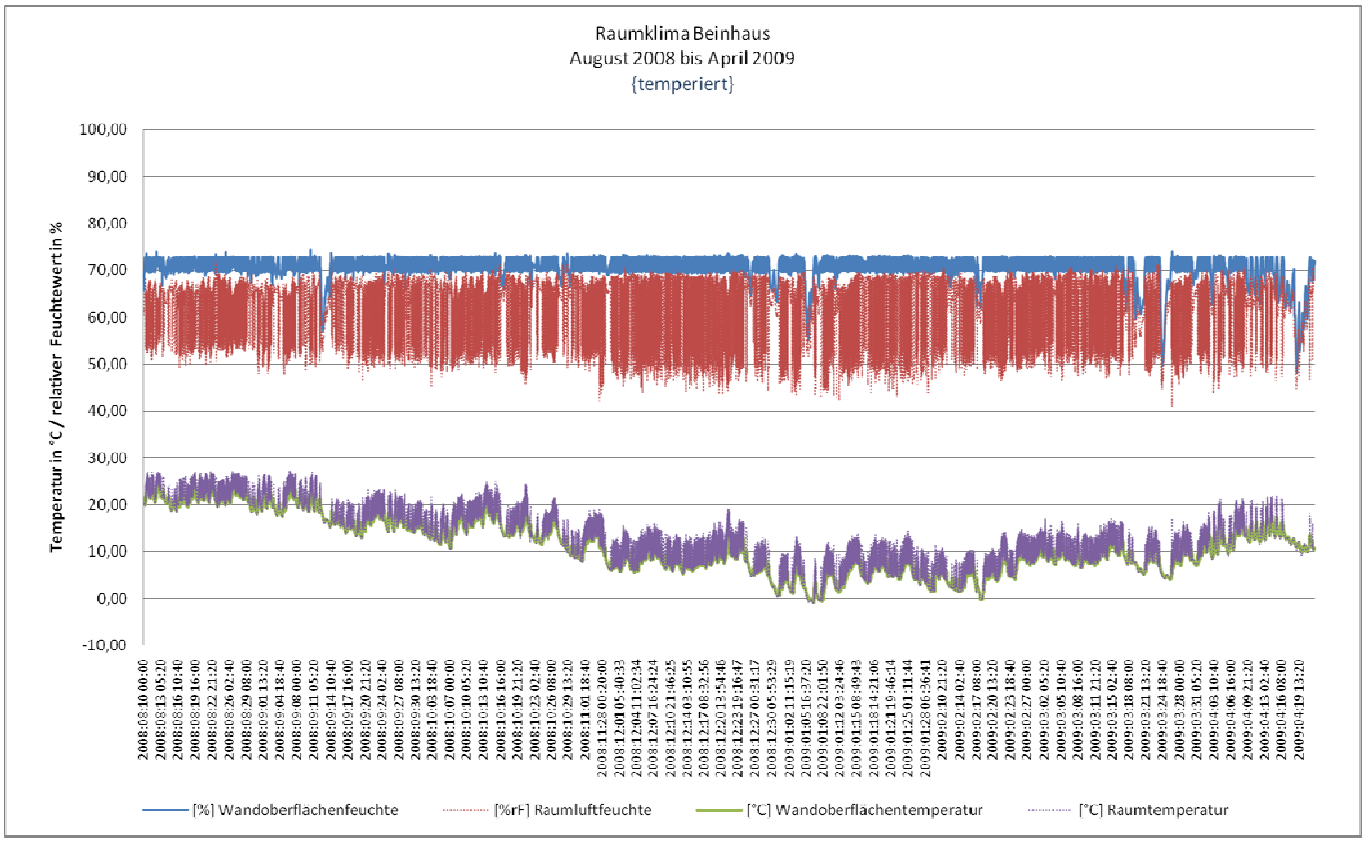
Messwerte Messzeitraum 04/2004 bis 04/2005:

Raumtemperatur	**: -2,4 °C bis 31,1 °C**	**Mittelwert = 10,1 °C**
Raumluftfeuchte relativ	**: 45,5 % bis 99,9 %**	**Mittelwert = 85,9 %**
Wandoberflächentemperatur	**: -1,9 bis 28,3 °C**	**Mittelwert = 10,1 °C**
Wandoberflächenfeuchte relativ	**: 51,1 % bis 100 % (Taupunkt)**	**Mittelwert = 85,6 %**

Diese Art von Raumluft- und Wandflächenklima führt durch den ständigen Wechsel von Be- und Entfeuchtung und durch die Kondensation von Raumluftfeuchte an den Wandflächen, zu einer starken hygrothermischen Beanspruchung der Wandoberflächen und der darauf befindlichen Malereien. Zusätzlich werden durch den wiederholten Durchgang der Kristallisations-und Lösungszyklen der mauerschädigenden Salze starke mechanische Kräfte auf die oberen Putzschichten und die Wandmalereien ausgeübt.

Mit Inbetriebnahme der Sockelleistentemperierung wurden zeitgleich alle relevanten Raumklimadaten erfasst und nachfolgend den Messdaten aus dem Zeitraum 2004/2005 gegenübergestellt.

Messdaten 06/2008 bis 05/2009



Messwerte Messzeitraum 08/2008 bis 04/2009:

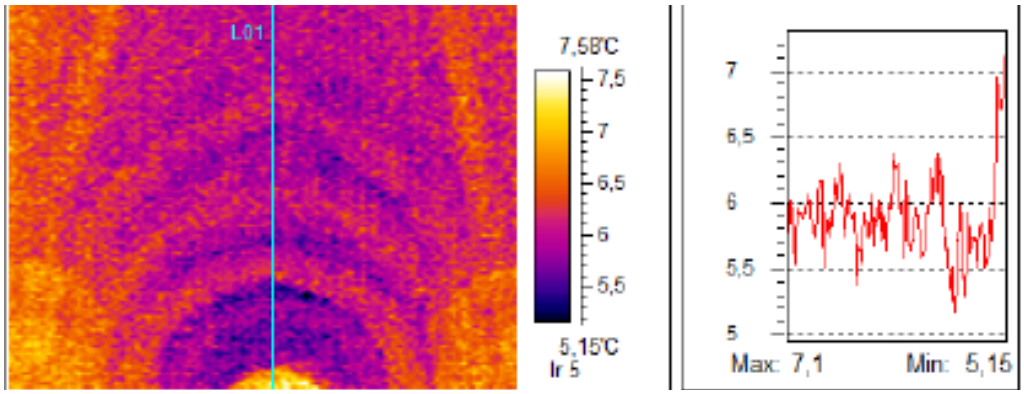
Raumtemperatur	**: -0,9 °C bis 27,4 °C**	**Mittelwert = 12,5 °C**
Raumluftfeuchte relativ	**: 41,0 % bis 72,3 %**	**Mittelwert = 62,8 %**
Wandoberflächentemperatur	**: -0,8 bis 24,1 °C**	**Mittelwert = 11,6 °C**
Wandoberflächenfeuchte relativ	**: 48,2 % bis 74,2 %**	**Mittelwert = 70,5 %**

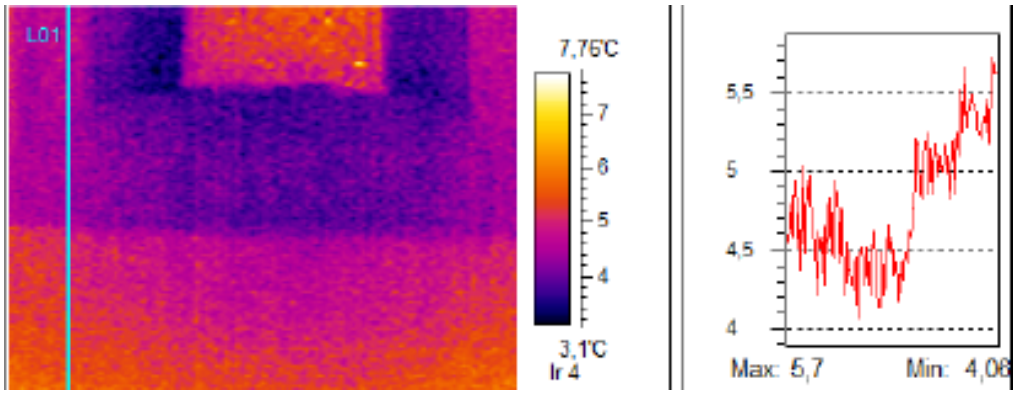
Der Vergleich beider Messperioden zeigt deutlich, dass nach Inbetriebnahme und Einregulierung der Sockelleistentemperierung (sowie Einschwingvorgängen am Gebäude) die relative Wandoberflächenfeuchte zu keinem Zeitpunkt mehr den vorgegebenen maximalen Wert von 75% überschreitet (**blaue Linie**).
Um eine mögliche Unterschreitung der Frostgrenze von 0°C an den raumseitigen Wandoberflächen grundsätzlich zu vermeiden, ist eine programmtechnische Anpassung der Heizleistenregelung problemlos möglich.
Mit einer zusätzlichen Forderung im Bereich der minimal zulässigen Wandtemperaturen sinken allerdings die erzielbaren relativen Wandoberflächentemperaturen stärker ab. Die dadurch verursachten hygrischen Spannungen sind im Verhältnis zur thermischen Längendehnung an den Wandoberflächen zu bewerten. Im Putzmörtel sind Längenänderungen des Materials durch Feuchteschwankungen stärker ausgeprägt als thermisch verursachte Längenänderungen. Eine zu geringe Wandoberflächenfeuchte führt somit zu größeren mechanischen Belastungen an Putzoberflächen durch Austrocknen, als durch langsam gleitende Temperaturschwankungen.

Zusätzliche Untersuchungsergebnisse:

Da die Messung der Raumklimadaten technisch bedingt nur in einer Höhe von ca. 1 m über dem Fußboden durchgeführt wurden, sollte weiterhin mit Hilfe einer Thermographiekamera (Infrarotmessung) festgestellt werden, ob sich starke Abweichungen der Wandoberflächenklimatas an höher gelegenen Wandabschnitten einstellen würden.

Die Infrarotmessungen wurden durch das Ingenieurbüro Ulrich vom Schloß am 09.02.2009 bei einer Außentemperatur von -1,0 °C durchgeführt..





Die Auswertungen der Messergebnisse zeigen eine maximale Temperaturabweichung von 2,0 Kelvin in Bezug auf den Messpunkt bei 1,0 m über dem Boden.
Das bedeutet, dass in dem Beinhaus mit einer lichten Innenhöhe von 5,4 m an keiner der Wandoberflächen eine höhere relative Wandoberflächenfeuchte als 81 % auftrat.

Auch dieses Ergebnis deckt sich mit den Erwartungen und Erfahrungen aus anderen vergleichbaren Objekten.
Da die Sockelleistentemperierung ihre Energie fast ausschließlich durch Wärmeabstrahlung und Strahlungsaustausch von Wandoberflächen in das Objekt einbringt und verteilt, gleichen sich die Wandoberflächentemperaturen in Objekten geringer Höhe sehr stark an.
Somit ist durch die Funktion der Sockelleistenheizung eine sichere kondensationsfreie Wandflächentemperierung auch der anderen höher und weiter entfernt gelegenen Wandabschnitte im Beinhaus realisierbar.

6. Zusammenfassung

Nach einjährigem Betrieb der neuinstallierten Sockelleistenheizungsanlage des Herstellers „radiatherm“ im Beinhaus des Münsters Bad Doberan, lassen sich nachfolgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Durch die Funktion der Sockelheizleisten im Zusammenwirken mit der Wandoberflächengesteuerten Heizungsregelung sind die angestrebten Ziele der Wandflächentrocknung, der Kondensatfreihaltung aller Wandoberflächen und die Eliminierung der Salzlösungs-/ kristallisationszyklen vollständig realisiert worden.

- Die Temperaturschwankungen an den Innenwandoberflächen gleiten weiterhin langsam mit der Außentemperatur mit, um möglichst geringe Betriebskosten durch die Temperierung entstehen zu lassen.

- Die maximale Schwankung der relativen Oberflächenfeuchtigkeit konnte gegenüber dem unbeheizten Zustand von 49 % auf 26 % gesenkt werden.

- Ein Erreichen von Kondensationszuständen wurde im gesamten Innenbereich des Beinhauses vollständig vermieden.

- Die Durchfeuchtungen in den Wandoberflächen der Außenwände konnten bis in eine Tiefe von ca. 250 mm auf normale Ausgleichsfeuchtewerte für beheizte Gebäude reduziert werden.

- Ein erneutes Auskristallisieren von Salzen und dadurch hervorgerufene mechanische Schädigungen an Oberflächen konnte vermieden werden.

Abschließend ist einzuschätzen, dass sich der Einsatz einer über den Parameter Wandoberflächenfeuchte geführten Sockelleistenheizungsanlage, sehr positiv auf das Innenraumklima und die Wandoberflächen auswirkt. Durch den Einsatz dieser Technologie lässt sich eine dauerhafte Konservierung von Wandoberflächen, Einrichtungsgegenständen und Wandmalereien mit verhältnismäßig geringem Primärenergieaufwand und überschaubaren Investitionskosten realisieren.

Abschließend bedanke ich mich bei den Ingenieurbüros Krause und Ullrich vom Schloß für die freundliche Überlassung ihrer Messdaten zur Erstellung dieses Abschlussberichtes.

Steffen Sabin